

UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA – UDESC
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRO-VETERINÁRIAS – CAV/LAGES
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL – PPGEF

NORTON MACHADO

**MÉTODOS DE AMOSTRAGEM APLICADOSEM POVOAMENTOS DE *Pinus taeda*
L. SOB DIFERENTES REGIMES DE MANEJO**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**LAGES
2022**

NORTON MACHADO

MÉTODOS DE AMOSTRAGEM APLICADOS EM POVOAMENTOS DE *Pinus taeda* L. SOB DIFERENTES REGIMES DE MANEJO

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de mestre em Engenharia Florestal pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal do Centro de Ciências Agro-veterinárias - CAV, da Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC.

Orientador: Prof. Dr. Thiago Floriani Stepka

Co-orientador: Prof. Dr. Marcos Felipe Nicoletti

LAGES

2022

**Ficha catalográfica elaborada pelo programa de geração automática da
Biblioteca Setorial do CAV/UDESC,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

Machado, Norton

MÉTODOS DE AMOSTRAGEM APLICADOS EM
POVOAMENTOS *Pinus taeda* L. SOB DIFERENTES
REGIMES DE MANEJO / Norton Machado. -- 2022.

136 p.

Orientador: Thiago Floriani Stepka

Coorientador: Marcos Felipe Nicoletti

Dissertação (mestrado) -- Universidade do Estado de
Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias,
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal,
Lages, 2022.

1. amostragem. 2. inventário florestal. 3. Bitterlich. 4.
Prodan. 5. povoamentos florestais. I. Stepka, Thiago Floriani.
II. Nicoletti, Marcos Felipe. III. Universidade do Estado de
Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias,
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. IV.
Título.

NORTON MACHADO

MÉTODOS DE AMOSTRAGEM APLICADOS EM POVOAMENTOS DE *Pinus taeda* L. SOB DIFERENTES REGIMES DE MANEJO

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de mestre em Engenharia Florestal pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal do Centro de Ciências Agro-veterinárias - CAV, da Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC.

Orientador: Prof. Dr. Thiago Floriani Stepka

Co-orientador: Prof. Dr. Marcos Felipe Nicoletti

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Thiago Floriani Stepka
CAV/LAGES - UDESC

Prof. Dr. Afonso Figueiredo Filho
UNICENTRO

Prof. Dr. Geedre Adriano Borsoi
CAV/LAGES - UDESC

Lages, 18 de fevereiro de 2022.

AGRADECIMENTOS

Agradeço principalmente a minha esposa Thiza, pois sem o seu apoio não seria possível realizar essa pesquisa.

Também agradeço a todos os professores do curso de pós-graduação em Engenharia Florestal, eles são excelentes e muito profissionais. Agradeço a UDESC, pelo suporte técnico, administrativo e estrutural oferecidos pelo campus universitário do CAV - Lages/SC.

Deixo aqui meus agradecimentos à Celulose Irani S/A e ao Eng. Florestal Volmar Pivetta por gentilmente cederem as áreas experimentais. Também agradeço aos novos amigos do curso de mestrado Alex Nascimento e Ivan Pinheiro, e aos parceiros de inventários florestais de longa data, Fabrício Zanin e Carlos Trintini, aos auxiliares de campo Max e senhor Lourival, e ao meu filho Marcos Vinícius por me ajudarem na coleta de dados de campo deste estudo.

Deixo um agradecimento muito especial ao meu orientador Professor Doutor Thiago Floriani Stepka, por acreditar no projeto desde o início, e por compartilhar suas experiências, seus e conhecimentos de forma tão consistente, direta e democrática. E aos membros da banca examinadora os Professores Doutores Afonso Figueiredo Filho, Geedre Adriano Borsoi e Gerson dos Santos Lisboa, deixo meus sinceros agradecimentos.

Eu dedico este trabalho às ciências florestais.

RESUMO

MACHADO, Norton. MÉTODOS DE AMOSTRAGEM APLICADOS EM POVOAMENTOS DE *Pinus taeda* L. SOB DIFERENTES REGIMES DE MANEJO.

2022. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal – Área: Engenharia Florestal) – Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal, Lages, 2022.

Partindo do pressuposto que diferentes formas de levantamentos de campo, utilizados em inventários florestais, são capazes de estimar de forma consistente, o volume de madeira entre outros atributos florestais, este estudo realizou a comparação dos métodos de amostragem que utilizam unidades amostrais (UA) com diferentes formatos e tamanhos, aplicados em povoamentos de *Pinus taeda* L. em diferentes estágios de manejo florestal. Utilizando censos como comparadores para as variáveis dendrométricas volume ($V.\text{ha}^{-1}$, área basal ($G.\text{ha}^{-1}$), e número de árvores ($N.\text{ha}^{-1}$) e diâmetro médio (d) e distribuição diamétrica (DD), foram testados o método de área fixa circular e retangular (200, 400 e 600 m^2), e o método de área variável de Bitterlich (FABs de 1, 1,5, 2, 4, 6 e 10 $\text{m}^2.\text{ha}^{-1}$), das seis árvores de Prodan (com variações de 6, 8, 10 e 12 árvores) e um modelo alternativo pré-denominado de M25 ou Método Modular, que avalia subconjuntos de 25 árvores e espaçamentos entre plantas (com variação de 25, 50, 75 e 100 árvores), aplicados nos mesmos pontos distribuídos em 3 experimentos, todos localizados no Meio-Oeste do estado de Santa Catarina/BR: EXP1, área não manejada ($1344 \text{ árv}.\text{ha}^{-1}$); EXP2, com um desbaste ($789 \text{ árv}.\text{ha}^{-1}$); EXP3, com dois desbastes seletivo e sistemáticos ($475 \text{ árv}.\text{ha}^{-1}$). Considerando a precisão e eficiência, o método de área fixa levou vantagem sobre os demais (especialmente o formato circular), seguido pelo M25, Bitterlich e por último Prodan. Os erros de amostragens ($E_a\%$) sempre superestimados, foram maiores quanto menor o tamanho da UA (maior FAB no caso do Bitterlich) e no geral maior quanto menor a densidade do povoamento. Não foram identificadas diferenças significativas (probabilidade de 95%) entre tratamentos (forma e tamanho) nas variáveis dendrométricas $V.\text{ha}^{-1}$, $G.\text{ha}^{-1}$, $N.\text{ha}^{-1}$ e "d" independentemente da área. A aderência das DDs foram avaliadas pelo teste de KOLMOGOROV-SMIRNOV (99% de probabilidade), sendo que metade dos tratamentos não foram aderentes aos censos nos EXP1 e EXP2. Já no EXP3 a grande maioria dos tratamentos foram aderentes. Quanto a acuracidade a variável

"d" foi a menos afetada pelos tratamentos que as demais testadas, com vantagem do método M25 no EXP1, Bitterlich no EXP2, e Prodan no EXP3. Para as variáveis V.ha⁻¹ e G.ha⁻¹, o método da área fixa foi melhor no EXP1, o M25 melhor no EXP3, sendo constatado equilíbrio de performances no EXP2. Para a variável N.ha⁻¹, os destaques foram o M25 e área fixa nas 3 áreas experimentais. Quanto a DD, os métodos da área fixa e M25 se destacaram nos EXP1 e EXP3, e o métodos de Bitterlich e área fixa se destacando no EXP2. O estudo demonstrou que tamanho e forma das UAs influenciaram basicamente na precisão e na eficiência relativa das amostragens, não impactando diretamente na acuracidade dos tratamentos. Já o tamanho efetivo dos povoamentos, utilizados no processamento dos dados dos inventários florestais, mostrou ser uma grande fonte de erro nas estimativas das variáveis agrupadas por hectare.

Palavras-chave: Amostragem; Inventário florestal; Bitterlich; Prodan; povoamentos florestais

ABSTRACT

Assuming that different forms of field surveys used in forest inventories are able to consistently estimate the volume of wood and other forest attributes, this study compared sampling methods that use sampling plots with different shapes and sizes, applied in stands of *Pinus taeda* L. in different stages of forest management. Using censuses as comparators for the variables volume ($V.\text{ha}^{-1}$, basal area ($G.\text{ha}^{-1}$), and number of trees ($N.\text{ha}^{-1}$) and mean diameter (d) and diameter distribution (DD), the circular and rectangular fixed area method (200, 400 and 600 m^2) and the Bitterlich variable area method (BAF of 1, 1.5, 2, 4, 6 and 10 $\text{m}^2.\text{ha}^{-1}$) were tested. six Prodan trees (with variations of 6, 8, 10 and 12 trees) and an alternative model pre-named M25 or Modular Method, which evaluates subsets of 25 trees and spacing between plants (with variations of 25, 50, 75 and 100 trees), applied at the same points distributed in 3 experiments, all located in the Midwest of the state of Santa Catarina/BR: EXP1, unmanaged area ($1344 \text{ trees}.\text{ha}^{-1}$); EXP2, with a selective thinning ($789 \text{ trees}.\text{ha}^{-1}$); EXP3, with two selective and systematic thinning ($475 \text{ trees}.\text{ha}^{-1}$). Considering the precision and efficiency, the fixed area method had an advantage over the others (especially the circular format), followed by the M25, Bitterlich and finally Prodan. Sampling errors ($Ea\%$) were always overestimated and were higher the smaller the size of the plots (larger BAF in the case of Bitterlich) and, in general, higher the lower the population density. No significant differences were identified (95% probability) between treatments (shape and size) in the dendrometric variables $V.\text{ha}^{-1}$, $G.\text{ha}^{-1}$, $N.\text{ha}^{-1}$ and "d" regardless of the area. Adherence to DDs was evaluated by the KOLMOGOROV-SMIRNOV test (99% probability), and half of the treatments were not adherent to the census in EXP1 and EXP2. In EXP3, the vast majority of treatments were adherent. As for accuracy, the variable "d" was the least affected by the treatments than the others tested, with the advantage of the M25 method in EXP1, Bitterlich in EXP2, and Prodan in EXP3. For the variables $V.\text{ha}^{-1}$ and $G.\text{ha}^{-1}$, the fixed area method was better in EXP1, the M25 better in EXP3, with a balance of performances in EXP2. For the variable $N.\text{ha}^{-1}$, the highlights were M25 and fixed area in the 3 experimental areas. As for DD, the fixed area and M25 methods stood out in EXP1 and EXP3, and the Bitterlich and fixed area methods stood out in EXP2. The study showed that the size and shape of the plots basically influenced the precision and relative efficiency of the sampling, not directly impacting

the accuracy of the treatments. On the other hand, the effective size of the stands, used in the processing of forest inventory data, proved to be a major source of error in the estimates of the variables grouped by hectare.

Keywords: Sampling; Forest Inventory; Bitterlich; Prodan; forest plantation

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 Municípios onde estão localizados os Experimentos	46
Figura 2 Detalhamento da localização do EXP1	47
Figura 3 Detalhamento da localização do EXP2	48
Figura 4 Detalhamento da localização do EXP3	48
Figura 5 Ilustração da medição do "c" (1,30m).....	49
Figura 6 Medição das alturas totais.....	49
Figura 7 Medição dos Espaçamentos	50
Figura 8 Equipamentos e dispositivos utilizados nos inventários florestais.....	51
Figura 9 Faixas de medições do censo do EXP1	52
Figura 10 Distribuição Amostral dos experimentos	53
Figura 11 Aplicação simultânea dos cinco desenhos amostrais	54
Figura 12 Desenho da unidade amostral circular	55
Figura 13 Desenho da UA com formato quadrado e retangular	56
Figura 14 Esquema do giro de Bitterlich	59
Figura 15 Unidade amostral de Prodan.....	61
Figura 16 Unidade amostral M25 e suas variações de tamanhos.....	63
Figura 17 Medição do espaçamento na unidade amostral M25	64
Figura 18 Posições relativas utilizadas no método de cubagem de Hohenadl.....	68
Figura 19 Relação da frequência acumulada de uma amostra e de referência com a máxima distância permitida (Dn)	71
Figura 20 Esquema de inclusão de árvores em UA instaladas em plantios florestais com espaçamentos sistemáticos	72
Figura 21 Simulação da variação do tamanho do talhão	73
Figura 22 <i>Boxplot</i> dos "d" amostrados nos experimentos	77
Figura 23 Distribuições diamétricas das áreas experimentais.....	77
Figura 24 Análise gráfica da hipsometria dos experimentos	78
Figura 25 Análise gráfica da volumetria dos experimentos	80
Figura 26 Comportamento do coeficiente de variação da variável V.ha ⁻¹ com o aumento da área da unidade amostral para todos os experimentos	83
Figura 27 Comportamento do coeficiente de variação da variável V.ha ⁻¹ no método de Bitterlich em diferentes FABs.....	85
Figura 28 Resultados de V.ha ⁻¹ ordenados dos três experimentos	88

Figura 29 Resultados de G.ha ⁻¹ ordenados dos três experimentos	91
Figura 30 Resultados de N.ha ⁻¹ ordenados dos três experimentos.....	94
Figura 31 Resultados dos diâmetros médios ordenados dos três experimentos	96
Figura 32 Distribuição de frequência acumulada dos experimentos	99
Figura 33 Percentual de árvores dentro das classes diamétricas dos experimentos	101

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Tratamentos utilizados nos experimentos	54
Tabela 2 Área da UA versus Fator de Proporcionalidade (F).....	58
Tabela 3 Tamanhos esperados para as UA no método M25	65
Tabela 4 Modelos volumétricos testados	69
Tabela 5 Modelos hipsométricos testados	69
Tabela 6 Exemplo de <i>ranking</i> de tratamentos por experimento	75
Tabela 7 Parâmetros dendrométricos médios para os 3 experimentos	76
Tabela 8 Modelos hipsométricos escolhidos para cada experimento	78
Tabela 9 Coeficientes hipsométricos selecionados para os tratamentos	79
Tabela 10 Modelos volumétricos selecionados para cada experimento	79
Tabela 11 Estatística do teste F e de normalidade (KS _{nor}) separado por experimento	81
Tabela 12 Tamanho de UA versus variáveis estatísticas para a variável volume por hectare (V.ha ⁻¹).....	83
Tabela 13 FABs versus variáveis estatísticas para a variável volume por hectare (V.ha ⁻¹).....	84
Tabela 14 Resultados da summarização pelo teste de Scott-Knott variável V.ha ⁻¹ , erro de amostragem relativo e erro real da estimativa.	87
Tabela 15 Resultados da summarização pelo teste de Scott-Knott variável G.ha ⁻¹ , erro de amostragem relativo e erro real da estimativa.	90
Tabela 16 Resultados da summarização pelo teste de Scott-Knott variável N.ha ⁻¹ , erro de amostragem relativo e erro real da estimativa	93
Tabela 17 Resultados da summarização pelo teste de Scott-Knott variável "d", erro de amostragem relativo e erro real da estimativa.....	95
Tabela 18 Diferenças entre as médias do "d" obtidas no método de Bitterlich.	97
Tabela 19 Resultados do Teste KSad aplicado na distribuição diamétrica dos tratamentos.....	98
Tabela 20 Eficiência dos métodos de amostragem da variável volume por hectare nos EXP1 e EXP2.....	103
Tabela 21 Eficiência dos métodos de amostragem da variável área basal por hectare nos EXP1 e EXP2.....	104

Tabela 22 Eficiência dos métodos de amostragem da variável número de árvores por hectare nos EXP1 e EXP2.....	104
Tabela 23 <i>Ranking</i> completo dos tratamentos no EXP1	106
Tabela 24 <i>Ranking</i> de tratamentos do EXP2	107
Tabela 25 <i>Ranking</i> de tratamentos do EXP3	108
Tabela 26 Cenários das simulações das áreas dos 3 experimentos.....	109
Tabela 27 Simulação dos erros reais (Er%) com alteração da área do EXP1	110
Tabela 28 Simulação dos erros reais (Er%) com alteração da área do EXP2	111
Tabela 29 Simulação dos erros reais (Er%) com alteração da área do EXP3	112
Tabela 30 Tratamentos que configuraram com as melhores posições para as variáveis dendrométricas por hectare	117
Tabela 31 Tratamentos que configuraram com as melhores posições para as variáveis dendrométricas diâmetro médio e distribuição diamétrica	118
Tabela 30 Coordenadas das UAs localizadas nos três experimentos.....	130

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 Principais características dos experimentos.....	47
---	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

UDESC	Universidade do Estado de Santa Catarina
c	Circunferência à altura do peito (1,30 metros do solo)
d	Diâmetro à altura do peito (1,30 metros do solo)
g	Área transversal (m^2)
G	Área basal por hectare ($m^2.ha^{-1}$)
h	Altura total média
UA	Unidade amostral
A	Área da UA (m^2)
g	Área transversal (m^2)
G	Área basal por hectare ($m^2.ha^{-1}$)
n	Número de árvores da UA
N	Número de árvores por hectare ($N.ha^{-1}$)
v	Volume total individual (m^3)
V	Volume total por hectare ($m^3.ha^{-1}$)
FAB ou K	Fator de área basal ou Banda (m^2)
EXP1	Experimento 1
EXP2	Experimento 2
EXP3	Experimento 3
SDB	Área sem desbaste
1DB	Área com um desbaste
2DB	Área com dois desbastes

LISTA DE SÍMBOLOS

ha	Hectare
Mha	Milhões de hectares
m	Metro linear
m^2	Metro quadrado
m^3	Metro cúbico
cm	Centímetro

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	OBJETIVO GERAL.....	19
2.1	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
3	HIPÓTESE	20
4	REVISÃO DE LITERATURA	21
4.1	FLORESTAS PLANTADAS NO BRASIL.....	21
4.2	MANEJO DE FLORETTAS PLANDADAS NO BRASIL.....	22
4.3	DESBASTES.....	23
4.4	ATRIBUTOS DAS FLORESTAS	24
4.5	INVENTÁRIO FLORESTAL.....	27
4.6	TEORIA DA AMOSTRAGEM	28
4.7	POPULAÇÃO	29
4.8	FORMA DE OBTENÇÃO DOS DADOS DA POPULAÇÃO (PARÂMETRO E ESTIMATIVA).....	30
4.8.1	Censo ou inventário 100%	30
4.8.2	Amostragem e unidade amostral (UA)	31
4.9	PROCESSO AMOSTRAL	31
4.10	MÉTODOS DE AMOSTRAGEM.....	33
4.10.1	Método de Amostragem de Área Fixa	33
4.10.1.1	<i>Unidades amostrais circulares de raio fixo</i>	34
4.10.1.2	<i>Unidades amostrais quadradas e retangulares</i>	35
4.10.2	Métodos de Amostragem com Áreas Variáveis.....	36
4.10.2.1	<i>Método de Amostragem de Bitterlich</i>	36
4.10.2.2	<i>Método de Prodan (6P)</i>	38
4.10.2.3	<i>Método Modular ou M25</i>	38
4.10.3	Tamanho das Unidades Amostrais (UA)	39
4.10.4	Eficiência dos métodos de inventário	41
4.11	SISTEMA E PROCESSAMENTO DE INVENTÁRIO.....	42
4.12	PRECISÃO, ACURACIDADE E ERROS EM INVENTÁRIOS	42
4.13	MAPEAMENTO NO INVENTÁRIO FLORESTAL.....	44
5	MATERIAL E MÉTODOS	46
5.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	46

5.1.1	Localização dos experimentos	46
5.1.2	Descrição das áreas.....	47
5.2	MENSURAÇÃO FLORESTAL.....	48
5.2.1	Variáveis dendrométricas e equipamentos de medições utilizados	49
5.2.2	Realização do censo (Inventário 100%)	52
5.2.3	Inventário florestal por amostragem	53
5.2.3.1	<i>Parcelas circulares</i>	55
5.2.3.2	<i>Parcelas quadradas e retangulares</i>	56
5.2.3.3	<i>Estabelecimento da UA de área fixa e mensuração das variáveis dendrométricas</i>	57
5.2.3.4	<i>Pontos amostrais de Bitterlich</i>	59
5.2.3.4.1	Determinação das variáveis dendrométricas pelo método de Bitterlich ..	60
5.2.3.5	<i>Método de Prodan (6P)</i>	61
5.2.3.5.1	Determinação das variáveis dendrométricas pelo método de Prodan.....	61
5.2.3.6	<i>Método modular ou M25</i>	62
5.2.3.6.1	Determinação das variáveis dendrométricas do método M25	64
5.2.4	Estimativa dos diâmetros médios	67
5.2.5	Ajustes de equações de volume e da altura.....	67
5.2.5.1	<i>Equações volumétricas</i>	68
5.2.5.2	<i>Equações hipsométricas</i>	69
5.2.6	Análise da distribuição diamétrica	70
5.3	MAPEAMENTO DOS EXPERIMENTOS.....	72
5.4	DELINÉAMENTO ESTATÍSTICOS	73
5.5	PROCESSAMENTO DOS DADOS E VARIÁVEIS ESTATÍSTICAS.....	74
5.6	ESTABELECIMENTO DO RANKING DE TRATAMENTOS.....	74
6	RESULTADOS	76
6.1	PARÂMETROS	76
6.1.1	Modelagem hipsométrica dos experimentos	77
6.1.2	Modelagem volumétrica dos experimentos	79
6.2	ESTATÍSTICA EXPERIMENTAL.....	80
6.3	INTENSIDADE E SUFICIENCIA AMOSTRAL.....	82
6.4	ANÁLISE DAS VARIÁVEIS DENDROMÉTRICAS	86
6.4.1	Estimativas para o volume por hectare (V.ha ⁻¹).....	86
6.4.2	Estimativas para a área basal por hectare (G.ha ⁻¹)	89

6.4.3	Estimativas para o número de árvores por hectare (N.ha ⁻¹)	92
6.4.4	Estimativas para diâmetro médio	95
6.4.5	Análise da distribuição diamétrica	97
6.4.6	Eficiência relativa dos métodos de amostragens	102
6.4.7	<i>Ranking</i> de resultados	105
6.4.8	O efeito da área efetivamente plantada nos experimentos	108
7	DISCUSSÃO E RECOMENDAÇÕES	113
7.1	SOBRE A OPERACIONALIZAÇÃO DAS METODOLOGIAS TESTADAS NO CAMPO	113
7.2	QUANTO À PRECISÃO E A SUFICIÊNCIA AMOSTRAL DOS MÉTODOS DE AMOSTRAGEM	114
7.3	SOBRE AS ACURACIDADE DOS MÉTODOS NA OBTENÇÃO DAS VARIÁVEIS DENDROMÉTRICAS	116
8	CONCLUSÃO	121
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	123
	APÊNDICE A - MAPAS DE INVENTÁRIO	127
	APÊNDICE B - TABELA DE COORDENADAS DOS PONTOS AMOSTRAIS (REPETIÇÕES)	130

1 INTRODUÇÃO

O Brasil possui uma das maiores reservas florestais do mundo, contendo também a maior biodiversidade do planeta Terra. Em termos de tamanho fica atrás apenas da Federação Russa e do Canadá (FAO/ONU, 2020).

Visto que a demanda interna e externa dos produtos oriundo de florestas tende a subir com o desenvolvimento local (GRAVES, 1906; HUSCH *et al.*, 1982), pode-se esperar um aumento da pressão sobre os remanescentes florestais nativos e plantados do país. Segundo Hosokawa (1980), citado por Mendes (1988), a prática do manejo sustentado da floresta é a única forma de se obter o equilíbrio dinâmico entre a produção e a demanda dos recursos florestais.

O negócio florestal está cada vez mais competitivo, demandando cada vez mais de informações fidedignas dos atributos das florestas, e segundo Drusczc (2014), este conhecimento é fundamental para planos de manejo, planejamento de operações de colheita e tratos culturais, e estimar o crescimento e produção florestal.

O conhecimento das variáveis dendrométricas, ou das medidas das árvores de florestas nativas ou plantadas, é obtido por meio da mensuração florestal. Segundo Sanquette *et al.* (2016), pode-se obter informações das florestas por meio de medições de campo, fotografias aéreas, imagens de satélite, dispositivos de radares, entre outras fontes, porém é por meio do inventário florestal, que utiliza unidades amostrais instaladas, a forma mais praticada de amostragem em todo planeta.

Segundo Husch *et al.* (1982), Avery e Burkhart (1983) e Laar e Akça (2007), a mensuração florestal, foi uma das primeiras atividades desenvolvidas nas ciências florestais. Segundo Graves (1906), surgiu com a necessidade de quantificar a madeira e seus produtos das áreas nativas já escassas nos países em desenvolvimento da Europa, notadamente na França e na Alemanha.

Para West (2009) a mensuração florestal é utilizada para entender como as florestas crescem e se desenvolvem, além de quantificar a produção de madeira, e de outros subprodutos florestais demandados pelo homem.

A mensuração florestal, aborda a medição das árvores em florestas nativas ou plantadas, visando quantificar, qualificar e conhecer o seu nível de desenvolvimento e estado atual (FINGER, 2006). Esse autor também afirmou que se originou devido às necessidades do homem em estimar ou determinar os recursos florestais, com objetivos comerciais, de manejo ou para a pesquisa.

A mensuração florestal reúne conhecimentos básicos de três grandes áreas de estudos: a *Dendrometria*, ciência da mensuração florestal propriamente dita; a *Topografia*, pela necessidade de delimitação da área de interesse e dos espaços do entorno; e da *Estatística*, do delineamento amostral e processamento dos dados de campo (AVERY e BURKHART, 1983). Husch *et al.* (1982) ainda incluíram na atividade os conhecimentos em hidrologia, solos, fauna, entre outros de cunho mais ecológicos e de lazer.

Atualmente informações de dados dendrométricos advindos de inventários florestais são fundamentais para viabilizar as grandes negociações envolvendo ativos florestais com base em volumes de madeira; para estimar o crescimento das árvores e fazer planejamento da produção futura em uma floresta; para realizar um plano de manejo sustentável de uma área nativa; pode-se mencionar ainda, os órgãos governamentais e outras entidades ligadas ao setor florestal, que sempre necessitam de informações dos atributos florestais de interesse (DRUSZCZ, 2014; KOHLER, 2017; SERPE, 2017).

Grosenbaugh (1958), Husch *et al.* (1982), Sanquette *et al.* (2009) afirmaram que existem duas opções básicas para quantificação de áreas florestais: por meio de censos (inventário de 100% dos indivíduos); ou na maioria dos casos feita mediante a amostragem de partes reduzidas das populações. Husch *et al.* (1982) e Avery e Burkhart (1983) afirmaram que o censo não é uma forma prática e barata de se obter dados de populações florestais, inviáveis dependendo do tamanho da população ou do tipo de estudos. Laar e Akça (2007) corroboraram com todos os importantes cientistas florestais, afirmando que a amostragem é a forma mais segura, barata e até mesmo mais precisa de se obter informações das variáveis dendrométricas.

Segundo Péllico Netto e Brena (1997) não existe um consenso sobre qual é a melhor metodologia de coleta de dados aplicada em inventário

florestal, sendo muitas vezes escolhidas por conveniência e limitada pelos recursos financeiros disponibilizados para tal. Autores como Husch *et al.* (1982), Avery e Burkhart (1983), Péllico Netto e Brena (1997), Sanquette *et al.* (2009), Laar e Akça (2007) apontaram que o melhor método é sempre aquele que é mais adequado segundo as características da área florestal (relevo, variabilidade da floresta, qualidade e estágio de desenvolvimento das árvores, regimes de manejo, presença ou não de sub-bosque, etc), pela experiência do biometrista, ao menor custo operacional possível.

Sendo então o inventário florestal uma atividade bastante onerosa, pois envolve grandes quantidades de recursos logísticos, humanos e equipamentos; e também ser tarefa extenuante, repetitiva, e com vários elementos externos afetando diretamente a produtividade das equipes e qualidade dos levantamentos de campo (condições climáticas, relevos, sub-bosques, temperaturas, presença de insetos, animais, etc.), qual é o motivo pelo qual, na maioria das vezes, a atividade de inventário mede-se muito mais árvores do que o necessário? Druscz (2014) alertou sobre o excesso de dados nos métodos tradicionais de inventário florestal, que também é comentado em literatura (PÉLLICO NETTO e BRENA, 1997; FINGER, 2006; SANQUETTA *et al.*, 2009).

No Brasil os métodos de amostragem mais usuais, em povoamentos, utilizam unidades amostrais (UA) com tamanhos que variam entre 200 a 1.000m², com formato quadrado, retangular ou circular (PÉLLICO NETTO e BRENA, 1997; SANQUETTA *et al.*, 2009), para florestas nativas as UA são normalmente muito maiores (1.000 a 10.000 m²). Os métodos de amostragem de área variável como Prodan (6P), amostragem por pontos de Bitterlich (relascopia), STRAND (linhas + ponto de Bitterlich), entre outros métodos alternativos, são pouco utilizados em florestas brasileiras, mesmo sendo considerados em estudos envolvendo métodos de amostragens (DRUSZCZ *et al.*, 2010; DRUSZCZ, 2014; e MIRANDA *et al.*, 2022) como métodos precisos, acurados, e bastante eficientes.

Contudo, algumas perguntas ainda ficam sem respostas aos olhos dos florestais em relação aos plantios executados em espaçamentos regulares: Como representar algo que é plantado de forma quadrada dentro de um

círculo? A aleatoriedade do centro amostral explica o bom desempenho desse formato em inventário?

Por que instalar unidades amostrais maiores, quando se pode utilizar unidades menores em maior número, captando assim maior variabilidade? Normalmente o manejador está mais interessado no baixo erro amostral obtido no processamento estatístico, ao invés de captar melhor a variabilidade de sua floresta. Pode-se combinar os métodos existentes?

O que fazer quando a área é muito inclinada ou quando existe um sub-bosque denso? Como garantir o erro amostral quando o orçamento para o levantamento é pequeno, e os recursos humanos e equipamentos são limitados? Como o regime de manejo afeta as metodologias de inventário? Qual é o real impacto da área efetiva do plantio sobre os resultados do inventário?

Desse modo, buscou-se neste trabalho comparar a performance de diferentes métodos de amostragens em inventário florestal, aplicadas em plantações de *Pinus taeda* L. sob condições de manejo diferenciados, e seus efeitos nas estimativas das variáveis dendrométricas: volume por hectare ($m^3.ha^{-1}$), área basal por hectare ($m^2.ha^{-1}$), número de árvores por hectare ($N.ha^{-1}$), diâmetro médio (cm), e na distribuição diamétrica (DD).

2 OBJETIVO GERAL

Avaliar o desempenho de diferentes métodos de amostragem em inventários florestais em plantios de *Pinus taeda* L., com diferentes idades e regimes de manejo.

2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- A) Obter os parâmetros dendrométricos nas três áreas de estudo (censos);
- B) Avaliar a precisão e acurácia dos inventários florestais variando o método de amostragem, considerando unidades amostrais de área fixa (circulares e retangulares) e variável (Bitterlich, Prodan e M25) em diferentes tamanhos amostrais;
- C) Realizar medições topográficas das áreas de estudo, buscando simular a área útil das populações, e averiguar os efeitos nos resultados do censo;
- D) Comparar as estimativas do volume, área basal, número de árvores, diâmetro médio e distribuição diamétrica obtidos pelos métodos testados com os parâmetros do censo.

3 HIPÓTESE

É possível se obter resultados estatisticamente aderentes para as variáveis agrupadas volume total, área basal e número de árvores por hectare, bem como para a variável individual diâmetro médio e distribuição diamétrica, utilizando-se diferentes métodos de amostragem, considerando tamanhos fixos e variáveis de unidades amostrais, em plantios submetidos a diferentes regimes de manejo.

4 REVISÃO DE LITERATURA

4.1 FLORESTAS PLANTADAS NO BRASIL

A silvicultura do Brasil se desenvolveu muito a partir da metade dos anos 1960 com a política do incentivo fiscal para reflorestamentos, Lei 5.106/1966, que continuou até metade dos anos 1980 (MACEDO e MACHADO, 2003). Formaram-se os grandes plantios florestais compostos principalmente com árvores dos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus*, que ainda nos dias atuais, estes gêneros são as principais fontes de produtos advindos de florestas plantadas no país (KOLHER, 2017).

Os plantios de *Pinus* se estabeleceram principalmente na região Sul brasileira, onde já existiam indústrias de papéis, celulose e de madeira serrada, que processavam a madeira do pinheiro brasileiro, *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze (DRUSZCZ, 2014). Este autor também reafirmou que a substituição da matéria prima ajudou a aliviar a pressão sobre as florestas nativas locais, onde atualmente o estado do Paraná detém a maior área de plantios destas "coníferas" do Brasil, seguido por Santa Catarina e Rio Grande do Sul (IBA, 2020).

Já o *Eucalyptus* se adaptou muito bem na zona de clima tropical do vasto território brasileiro, principalmente nas regiões Sudeste e Centro-Oeste, e logo substituiu o uso da madeira nativa, originária do Bioma do Cerrado e da Mata Atlântica, muito utilizada na indústria do carvão e do aço desde o início da industrialização brasileira. Atualmente os plantios de *Eucalyptus* abastecem o segundo maior mercado de celulose do planeta, sendo assim o maior produto florestal brasileiro (IBA, 2020). O estado de Minas Gerais detém o maior plantio desta "folhosa" do Brasil (carvão e celulose), seguido por Mato Grosso do Sul (celulose) e São Paulo (celulose).

Segundo o relatório anual do IBA (2020) o Brasil possui mais de 9 milhões de hectares de áreas reflorestadas, sendo: 77% do gênero *Eucalyptus* (6,97 Mha); 18% de *Pinus* (1,64 Mha); e 5% com outros cultivares: acácia, teca, seringueira, paricá, etc (0,39 Mha). O país é um dos grandes *players* do setor florestal, destacando-se pela alta produtividade de suas florestas, tecnologia operacional incorporada, e pelas boas práticas de manejo florestal. O país também é referência internacional no setor de árvores cultivadas, que inclui

produção de madeira, celulose, papel, painéis reconstituídos, carvão vegetal entre outros (IBA, 2020). Em 2019, apesar de ser um ano desafiador para a economia brasileira, o setor representou 1,2% do PIB (R\$ 97,4 bilhões), com previsão de crescimento, diversificação de portfólio, e investimentos previstos em torno de 36 bilhões de reais até 2023 (IBA, 2020).

4.2 MANEJO DE FLORETTAS PLANDADAS NO BRASIL

O manejo de florestas plantadas se desenvolveu muito rapidamente no país. No início os reflorestamentos eram pouco produtivos, e a forma de plantio, conduções das desramas (pudas), raleios (desbastes), e até mesmo na mensuração dos plantios foram importados de outros países, re-adaptados conforme as condições locais. Atualmente são produzidos no país uma grande diversidade de clones principalmente dos gêneros *Eucalyptus* e *Pinus* (entre outros), com grau de melhoramento genético quase sempre superior ao resto do mundo. Segundo Kohler (2017) o setor florestal brasileiro apresenta a maior produtividade volumétrica, bem como a rotação mais curta do planeta, ou seja, período do plantio até a colheita das árvores.

Os avanços nas técnicas silviculturais como preparo do solo, fertilização, manejo de pragas e doenças, e controle de mato-competição também evoluíram muito ao longo dos anos, influenciando diretamente nos ganhos de produtividade e qualidade dos produtos florestais.

Os regimes de manejo florestal mais utilizado no Brasil são basicamente três (SCOLFORO, 2007):

- **Plantios florestais de uso múltiplo da madeira** - com espaçamentos iniciais maiores, com densidades variando entre 750 e 1600 árvores ha^{-1} , previsão de podas e desbastes, e maior período por ciclo (corte raso do *Pinus* entre 20 e 30 anos, e do *Eucalyptus* entre 10 e 15 anos). Este regime é mais utilizado nas florestas plantadas localizadas no Sul e Sudeste brasileiros, visando principalmente à produção de madeiras serradas e laminação.
- **Plantios com destinação para polpa e papel, e carvão vegetal** - espaçamentos variados, para o gênero *Pinus* entre 2000 e 2500 árvores ha^{-1} (maior densidade), e para o *Eucalyptus* em torno de 1000 árvores ha^{-1} (menor

densidade). Sem previsão de podas e desbastes, com ciclo de duração mais curto (*Pinus* ± 15 anos e *Eucalyptus* ± 7 anos).

- **Madeira livre de nós (Clearwood)** - este regime de manejo prevê podas dos galhos das árvores, mantendo o núcleo nodoso entre 10 e 15 centímetros de diâmetro, em alturas que variam entre 2,5 a 6,0 metros (ou até mais), visando a obtenção de madeira livre de nós. Normalmente também são realizados desbastes objetivando a maximização do volume individual das árvores.

4.3 DESBASTES

Segundo Dobner Junior e Huss (2015) a operação de desbaste reduz artificialmente o número de árvores de um povoamento, promovendo o crescimento volumétrico individual, alterando a composição dos sortimentos de madeira dos indivíduos selecionados para o fim do ciclo (corte raso). Segundo Scolforo (2007) o desbaste consiste na remoção de árvores (normalmente as menores e com defeitos), reduzindo o *stress* gerado pela competição entre indivíduos, tendo como objetivo principal o incremento em diâmetro das árvores, gerando madeira grossa no menor tempo possível.

A intensidade do raleio e as quantidades das intervenções dependerão do número de árvores iniciais, do crescimento da floresta, e pela estratégia de manejo específica para cada área (DOBNER JUNIOR e HUSS, 2015). Segundo Scolforo (2007) a obtenção de produtos distintos de um povoamento florestal dependerá das técnicas de plantio e das operações realizadas ao longo do ciclo do plantio, tais como a escolha da espécie (procedência e clone adaptado), do espaçamento inicial de plantio, dos tratamentos silviculturais (seleção das mudas, adubação, esquema de plantio, manutenção), e por fim das intervenções de poda e desbaste.

Scolforo (2007) afirmou que a maioria dos estudos confirmam que os desbastes beneficiam fortemente o crescimento em diâmetro, porém influencia muito pouco na altura, que também é pouco afetada pelo espaçamento(salvo em áreas com densidade extrema) e intervenções de cortes (salvo em situação de desbaste severo). Segundo o autor, a produção bruta de um plantio desbastado não é significativamente diferente quando comparado a outro sem

manejo, exceto sob aplicações de desbastes pesados ou muito pesados, prejudicando muitas vezes o desenvolvimento da população florestal.

A forma mais utilizada nas florestas plantadas brasileiras é o desbaste seletivo por baixo, que segundo Dobner Junior e Huss (2015), são retirados os indivíduos mais finos e defeituosos. Esses autores afirmaram que a outra forma é o desbaste seletivo por alto, onde são retirados os indivíduos concorrentes das árvores que serão deixadas para o corte raso.

O desbaste sistemático é realizado com o objetivo de facilitar a operação de corte e de tratamentos silviculturais (SCOLFORO, 2007). Segundo o autor o desbaste na linha não afeta o diâmetro médio, bem como a distribuição diamétrica do plantio, e sim de maneira proporcional à intervenção nas variáveis agrupada por unidade de área ($V.ha^{-1}$, $G.ha^{-1}$ e $N.ha^{-1}$ e DD).

4.4 ATRIBUTOS DAS FLORESTAS

As informações advindas das florestas plantadas ou nativas são fundamentais para a realização de um plano de manejo florestal, estudos de crescimento e produção florestal, nas tomadas de decisões das operações florestais, e para o planejamento estratégico de indústrias de base madeireira. São também valiosos para órgãos governamentais ligados ao setor florestal (política florestal), bem como são utilizadas como referências em negociações de compra e venda de ativos florestais (DRUSZCZ *et al.*, 2010; DRUSZCZ, 2014).

Segundo Machado e Figueiredo Filho (2006), Sanquette *et al.* (2009), Finger (2009), entre outros autores, os atributos mais importantes de uma população florestal, também conhecidos como variáveis dendrométricas são:

- **Volume por hectare e sortimento ($m^3.ha^{-1}$)** - o volume e sua classificação por tamanho (laminação, serraria, celulose e energia) é quase sempre a variável de maior interesse em inventários florestais.

Segundo West (2009) a maior preocupação da mensuração florestal é com a quantificação de madeira que as árvores possuem em seus troncos, e sua classificação por tamanhos, disponíveis para o corte em uma área.

- **Área basal ($m^2.ha^{-1}$)** - é a parte da floresta efetivamente ocupada pelas árvores. É o somatório de todas as seções transversais das árvores (g), extrapolada por unidade de área (hectare). É a variável agrupada que expressa a densidade de indivíduos da população, indica o grau de ocupação das árvores, sendo importante variável indicadora de crescimento e produção.

Segundo Finger (2006) é uma variável importante, sendo uma medida de densidade de uma floresta, e se relaciona diretamente com o volume por hectare. Correlacionando com a idade, serve para a determinação do crescimento das árvores em função de sítio (solos, espaçamento, competição, etc). Com o seu conhecimento é possível realizar avaliações do potencial produtivo e econômico das florestas.

- **Número de árvores por hectare ($N.ha^{-1}$)** - importante variável que também indica ocupação de árvores por unidade de área, e exprime a densidade da floresta.

- **Diâmetro à altura do peito (cm)** - é a variável mais importante medida em levantamentos de inventários florestais, e também é a variável mais fácil de ser coletada. Sendo uma medida básica para o cálculo da seção transversal (g), área basal, volume, distribuição diamétrica, etc. É mensurada a uma altura de 1,30 metros acima do solo, normalmente medido com fitas métricas, diamétricas ou com a sutá (paquímetro florestal).

West (2009) afirmou que o "d" é variável mais comum, mais simples de medir, e indiscutivelmente mais importante de um inventário florestal, e se correlaciona com outras variáveis dendrométricas, mesmo as mais difíceis de obtenção, como: volume do fuste e biomassa; reflete a competição entre as árvores e o valor monetário das florestas, pois quanto mais grossas, mais valiosas são as árvores.

- **Altura (m)** - a altura total ou parte dela (comercial) é a distância ao longo do eixo principal partido do solo até o ponto de referência, sendo outra importante característica a ser medida. Esta variável é pouco impactada pelas intervenções de manejo, e essencial no cálculo do volume, da altura média e dominante. Esta última é utilizada no estudo de produtividade e de sítio. Para a

medição das alturas são utilizados os hipsômetros analógicos/mecânicos ou digitais com princípio de funcionamento geométrico ou trigonométrico.

Segundo West (2009), as alturas das árvores são importantes para a obtenção do volume total e dos sortimentos. Também servem para estimar a capacidade produtiva do local, e estimar o crescimento das florestas nativas e plantadas.

- **Distribuição diamétrica (DD)** - É imprescindível o conhecimento da estrutura diamétrica de uma floresta em tomadas de decisões em manejo de florestas nativas ou plantadas, pois ela caracteriza uma população, e o desenvolvimento do estoque de matéria prima. A DD é obtida por meio de inventários florestais, sendo a distribuição de frequência, ou do número de árvores, por classes de diâmetro por unidade de área, definidas conforme a necessidade.

Segundo Avery e Burkhart (1983) os tipos mais comuns de distribuições de frequência são a Normal, Binomial e de Poisson, sendo a primeira a mais utilizada pelos manejadores florestais. Em uma amostragem se espera obter distribuições que se aproximem da normalidade, e por consequência, estimativas e inferências de uma variável qualquer pode ser embasada estatisticamente, podendo ser assumida para toda a população.

A análise da DD permite conhecer melhor a população estudada e modelar funções probabilísticas. Segundo Machado *et al.* (2009), a DD define a estrutura horizontal de uma floresta, auxilia na caracterização da tipologia florestal, sendo também um indicador importante de crescimento florestal.

Loetsch *et al.* (1973), citado por Schaaf *et al.* (2006), afirmaram que a DD de uma floresta é obtida por meio de agrupamentos de árvores em intervalos de "d". Com relação à amplitude de classes diamétricas, Schaaf *et al.* (2006), afirmaram não haver regras rígidas para a definição das dimensões deste intervalo, sendo na prática inferior a 5cm para plantios florestais e florestas nativas jovens, e entre 10 a 20 para florestas nativas desenvolvidas.

- **Códigos de qualidade** - atributos que exprimem a qualidade dos fustes dos indivíduos medidos nos levantamentos florestais. Indicadores de qualidade individual das árvores, de florestas nativas ou plantadas.

4.5 INVENTÁRIO FLORESTAL

A quantificação e classificação dos produtos florestais, a determinação do estágio de desenvolvimento de uma população, bem como se conhecer as principais características dendrométricas de áreas florestais, tornaram-se importantes a partir do meio do século XVIII. Nestes tempos a humanidade iniciou o seu desenvolvimento tecnológico, ocorrendo uma aceleração de consumo de todos os tipos de recursos florestais (madeira, resinas, gomas, taninos, açúcares, etc.), notadamente na Europa, mais especificamente em regiões da França e na Alemanha (GRAVES, 1906).

No início do século XX as ciências florestais dos Estados Unidos estavam iniciando, e Graves (1906) afirmou que "A mensuração florestal tratava da determinação do volume de toras, árvores, dos talhões; e no estudo de crescimento e da produção florestal". Segundo Husch *et al.* (1982) esta definição ainda é adequada para muitos engenheiros florestais até nos dias atuais. Esses autores ampliam o domínio da atividade de inventário florestal a aspectos relacionados ao manejo do meio ambiente, a vida selvagem, em atividades recreativas nas áreas florestais, no manejo dos recursos hídricos, e nos vários aspectos relacionados ao uso múltiplos dos recursos florestais.

Avery e Burkhart (1983) afirmaram que o propósito mais comum do inventário florestal é determinar o volume de árvores contida dentro de uma área pré-determinada. Também são utilizados para comprovação junto ao fisco (imposto de renda), apoiando plano de manejo florestal, avaliações de ativos, subsidiando informações para negociação de produtos florestais e de terras, e estudos de crescimento e produção florestal.

Pélico Netto e Brena (1997) afirmaram que definir esta atividade não é uma tarefa tão simples assim, pois podem englobar muitas etapas diferenciais, muitos objetivos, finalidades, em cada caso específico. Para esses autores, com o passar do tempo e a evolução tecnológica, a necessidade por informações mais detalhadas das áreas florestais exigiu que os inventários se tornassem mais complexos, fornecendo informações além do volume de madeira. Assim eles definiram genericamente esta parte da ciência florestal como: "Uma atividade que visa obter informações qualitativas e quantitativas dos recursos florestais existentes em uma área pré-definida".

Para Sanquetta *et al.* (2009) a definição de Inventário Florestal é bastante genérica, afirmando que qualquer levantamento de campo visando informações florestais, pode ser considerado um tipo de inventário florestal. Estes autores destacaram que a representação amostral e a validade estatística são a "marca registrada" da atividade de inventário florestal.

Para Laar e Akça (2007) a mensuração florestal é uma das disciplinas fundamentais dentro das ciências florestais, e que trata da: medição, quantificação e qualificação de produtos advindo das árvores, das análises estatísticas, dos resultados das variáveis dendrométricas, e da inferência das estimativas da população de interesse.

Os pesquisadores Husch *et al.* (1982), Avery e Burkhart (1983), Péllico Netto e Brena (1997), Sanquetta *et al.* (2009) entre outros, recomendaram que profissionais da área de mensuração florestal conheçam bem as técnicas de medições (com procedimentos bem definidos e padronizados de levantamentos de campo); tenham bons conhecimento nas áreas de matemática e estatística (com entendimento sobre populações florestais e de amostragem); e que sejam capazes de entender e utilizar mapas de campo (que conheçam muito bem os limites da área florestal em questão).

4.6 TEORIA DA AMOSTRAGEM

A literatura mostra que a teoria da amostragem é largamente utilizada em todas as áreas de conhecimento humano, onde se analisa apenas uma parte do todo, que envolve um problema específico (PÉLLICO NETTO e BRENA, 1997).

O uso da amostragem de populações não é algo novo, tão pouco se discute a magnitude de sua importância, pois muitas decisões operacionais tomadas tanto pelo setor privado quanto o setor governamental, são baseadas em estudos aplicados na teoria de amostragem (MADOW e MADOW, 1944).

Uma amostragem em inventário florestal, segundo Husch *et al.* (1982), consiste em fazer observações em uma parte da população florestal, por meio do levantamento no campo. É capaz de fornecer estimativas precisas das variáveis de interesse em um curto período de tempo à baixo custo.

A medição florestal depende muito dos procedimentos de amostragens, utilizados na obtenção das informações quali-quantitativas dos recursos

florestais, à um custo razoável (LAAR e AKÇA, 2007). A amostragem para estes autores é definida por sub-conjunto de medições em uma determinada população.

Para Avery e Burkhart (1983) o domínio das técnicas estatísticas de amostragens se tornaram tão importantes para os engenheiros florestais quanto o entendimento da dendrometria e do mapeamento. De fato, grande parte da ciência florestal está intimamente correlacionada com os procedimentos estatísticos.

Para Druscz (2014) a amostragem de uma população pode ser realizada de diversas maneiras, aplicadas conforme as características de distribuição das árvores de uma área qualquer, sendo que em tese pode-se aplicar qualquer método de amostragem. A utilização de um método não adequado acarretará na perda de precisão estatística das estimativas das variáveis de interesse, e também no aumento do custo do levantamento de campo. O mesmo autor afirmou que o censo ou enumeração total só é praticado em pequenas áreas, ou em áreas de grande importância econômica, ou nos estudos científicos.

A literatura em geral aponta que em inventário florestal o percentual de amostragem raramente ultrapassa 2% do total da população (KOHLER, 2017). Este percentual poderá aumentar em levantamentos de pequenas áreas de florestas nativas ou plantadas.

4.7 POPULAÇÃO

Genericamente uma população consiste em um grupo de objetos ou indivíduos de mesma natureza (PÉLLICO NETTO e BRENA, 1997). Esses autores citaram Sukhtme *et al.* (1984) conceituando uma população sendo definida por um grupo de unidades definidas. Os autores também citaram Loetsch e Haller (1973) que afirmaram que no sentido estatístico, uma população é definida por indivíduos de mesma natureza, ou que compartilham com características típicas comuns.

Avery e Burkhart (1983) descrevem que uma população pode ser definida como um agregado de qualquer característica definida de forma arbitrária, sem sobreposição de unidades amostrais. Esses autores, entre outros (PÉLLICO NETTO e BRENA, 1997; HUSCH *et al.*, 1982) classificaram

uma população quanto ao tamanho, em populações finitas e infinitas. As finitas possuem o número de unidades amostrais conhecidos, ou de número limitado, exemplo: números de serrarias de uma região ou de fábricas de papel de um país, ou a quantidade de grãos de feijões em uma área de 40 hectares. As infinitas não se conhecem o número exato de unidades de uma população, exemplo: número de árvores de *Pinus ponderosa* existentes no Sul dos Estados Unidos, ou de esquilos cinzas espalhados pela América do Norte (HUSCH *et al.*, 1982).

Tratando-se de uma população florestal (consenso geral entre os pesquisadores), ela pode ser formada por um conjunto de árvores, grupo formado por um ou mais talhões (de qualquer tamanho), ou uma floresta inteira de qualquer tamanho.

4.8 FORMA DE OBTENÇÃO DOS DADOS DA POPULAÇÃO (PARÂMETRO E ESTIMATIVA)

A literatura apresenta que os valores das variáveis de interesse provêm do levantamento de campo realizado na população de interesse, podendo ser realizado por duas formas básicas: Censo e amostragem.

4.8.1 Censo ou inventário 100%

A enumeração total, censo ou inventário 100% é a quantificação de todos os indivíduos ou elementos da população. Segundo Péllico Netto e Brena (1997) o censo reproduz exatamente todas as características de uma população, fornecendo valores reais também chamados de parâmetros populacionais.

Para Husch *et al.* (1982) a enumeração total ou censo, quase sempre é impraticável na área florestal, pois demandam muito tempo para realização a um custo muito alto. Esses autores afirmaram que devido às dificuldades deste tipo de levantamento, os resultados podem ser menos precisos que uma amostragem, que pode ser feita com muito mais controle e com menor quantidade de erros de medição.

Husch *et al.* (1982), Péllico Netto e Brena (1997), Sanquetta *et al.* (2009) e Kohler (2017) afirmaram que a utilização de censo só é justificada em áreas

florestais de tamanho reduzido, ou quando os valores comerciais de seus produtos são muito elevados.

4.8.2 Amostragem e unidade amostral (UA)

Em inventários florestais é quase sempre impossível de se conhecer os valores reais, ou paramétricos, das variáveis de interesse. Neste caso são utilizadas amostragens para inferir valores para a população como um todo (HUSCH *et al.*, 1982). Pode-se definir a amostra como um conjunto representativo de indivíduos ou unidades amostrais (UA) retirados de uma população (PÉLLICO NETTO e BRENA, 1997), sendo que raramente ultrapassa 2% do total da população (KOHLER, 2017).

O objetivo final de qualquer amostragem é a obtenção de estimativas confiáveis, cuidadosamente coletados em um percentual pequeno da população, e fazer as inferências corretas da variável de interesse para a total (AVERY e BURKHART, 1983).

As unidades amostrais (UA), comumente chamadas de "parcelas", são as unidades básicas onde serão realizadas as medições para a determinação das variáveis de interesse da população (PÉLLICO NETTO e BRENA, 1997). Na área florestal ela pode ser definida como uma parcela de tamanho fixo (quase sempre circular, quadrada ou retangular), ou tamanho variável (ponto amostral de Bitterlich), uma árvore individual (cubagem por exemplo), uma linha (STRAND), etc.

É de fundamental importância que a amostra deve refletir as mesmas características de sua população, ou seja, formada por uma coleção de indivíduos ou UA representativas do todo (PÉLLICO NETTO e BRENA, 1997). Esses autores destacaram a necessidade de cuidados extras na seleção da amostra, principalmente em áreas heterogêneas, em que a escolha do processo de seleção de amostras, torna-se o problema mais importante do inventário florestal.

4.9 PROCESSO AMOSTRAL

O processo amostral, que se refere ao tratamento estatístico dos dados de levantamento de campo, segundo Péllico Netto e Brena (1997) pode ser dividido em:

A) Amostragem Aleatória Simples - que é o processo fundamental estatístico, que deriva todos outros procedimentos de amostragem, onde todos os indivíduos ou UA têm as mesmas chances de seleção. Este método possui algumas desvantagens de operacionalização:

- É necessário realizar um procedimento para escolha aleatória das unidades amostrais na população;
- Dificuldades na localização das unidades amostrais quando estão muito dispersas na população;
- O tempo de deslocamento entre as unidades amostrais normalmente é maior, aumentando os custos do levantamento;
- Existe a probabilidade da distribuição amostral ser bastante irregular ou muito concentrada em um local específico, resultando assim em estimativas atípicas e não representativas das variáveis de interesse.

B) Amostragem sistemática - neste desenho amostral, as UA ou parcelas, são distribuídas com intervalos fixos, distribuídas em toda a população. Normalmente o levantamento de campo é mais rápido e barato de se executar. Produz resultados bastante confiáveis para as variáveis de interesse, pois a amostra tende a cobrir toda a área a ser levantada. Neste processo amostral é importante que a escolha da posição da primeira unidade amostral seja feita de forma randômica, sendo que as outras unidades seguirão conforme o *grid* estipulado de parcelas, assumindo assim, imparcialidade na distribuição amostral.

C) Amostragem estratificada - tratamento estatístico utilizado com frequência em florestas heterogêneas, ou em levantamento de grandes populações. É utilizado com o objetivo de identificar melhor as diferenças entre compartimentos, também conhecidos como estratos, existentes na população, e visa reduzir a variabilidade e do erro amostral. Os critérios para a separação dos estratos são muitos, sendo os principais com base em:

- características topografias - áreas planas, onduladas, acidentadas, etc;
- diferentes espécies - *Pinus taeda*, *Araucaria angustifolia*, etc;
- distinção de manejo - áreas com e sem desbastes, etc;

- Idades, densidades, sítios, características dendrométricas, etc;

Este processo amostral permite trabalhar cada estrato separadamente, sendo então possível reduzir a variância, melhorando a precisão amostral, consequentemente reduzindo o número de unidades amostrais necessário para atingir o limite erro exigido. As desvantagens são a necessidade de ter um conhecimento prévio das áreas (cadastro) e dos limites exatos das subdivisões.

Péllico Netto e Brena (1997) ainda descreveram outros tipos de processos de amostragem mais sofisticados, que basicamente são derivações e combinações já descritos: amostragem em dois estágios, amostragem em conglomerados, amostragens sistemáticas com múltiplos estágios, amostragens em múltiplas ocasiões, que não serão detalhados, por não ser foco desta pesquisa.

4.10 MÉTODOS DE AMOSTRAGEM

Os inventários florestais realizados atualmente utilizam dois métodos básicos de amostragem: amostragem com parcelas de área fixa, e a amostragem com UA de dimensões variadas (MACHADO e FIGUEIREDO FILHO, 2006).

PACKARD & RADTKE (2008) mostraram ser possível combinar os métodos área fixa (circular) e variável (Bitterlich). Já MARSHALL *et al.* (2004) realizaram varreduras utilizando múltiplos FABs para a obtenção independentes de dados, combinando-os para a composição dos resultados final das análises. Esses estudos foram realizados em florestas nativas estadunidenses, visando basicamente a redução de levantamento de campo (custos), mantendo os níveis de precisão estatística aceitáveis.

4.10.1 Método de Amostragem de Área Fixa

O método de amostragem de área fixa foi o primeiro a ser utilizado (Husch *et al.*, 1982; Sanquette *et al.*, 2009). Parcelas de área fixa (circular, quadrada e retangular) vêm sendo utilizadas a mais de um século, especialmente após o estabelecimento de inventários contínuos (MACHADO e FIGUEIREDO FILHO, 2006). É o método mais utilizado no Brasil e no mundo segundo Péllico Netto e Brena (1997). A maioria dos inventários feitos por

amostragem, são realizados desta forma por serem muito simples, além de permitir a obtenção de estimativas para as diversas variáveis dendrométricas (SANQUETTA *et al.*, 2009), tendo como a principal desvantagem à coleta excessiva de dados das árvores.

Grosenbaugh (1958), Husch *et al.* (1982), Péllico Netto e Brena (1997), Finger (2006), Sanquetta *et al.* (2009) relataram que este método seleciona os indivíduos proporcionalmente à área da unidade amostral, em outras palavras, é definido por quantificar os indivíduos dentro de um espaço pré-estabelecido (parcelas).

Laar e Akça (2007) afirmaram que as metodologias mais utilizadas são as de parcelas circulares, quadradas e retangulares. Em especial o formato retangular, que representa muito bem as florestas impenetráveis ou inacessíveis (nativas), sendo também a forma mais apropriada para os reflorestamentos por representar os espaçamentos entre plantas.

Segundo Sanquetta *et al.* (2009), existem muitas formas de unidades amostrais de áreas fixas, sendo as mais utilizadas em inventários as circulares, quadradas, retangulares, suas composições agrupadas ou em conglomerados. Os autores destacaram como as principais vantagens dos métodos de áreas fixas: a fácil instalação no campo; a praticidade das medições; a capacidade de obter qualquer estimador diretamente da parcela; e alta correlação entre duas ou mais medições sucessivas em inventários contínuos. As desvantagens são: o alto custo, e o excesso de informação coletadas no campo (muitas árvores medidas).

4.10.1.1 *Unidades amostrais circulares de raio fixo*

O formato circular é largamente utilizado pelo mundo segundo Sanquetta *et al.* (2009). No Brasil seu uso ainda é superado pelo método de parcela com formatos retangular ou quadrado, sendo estas as mais adequadas nos inventários realizados em florestas nativas. Para estes autores o uso de parcelas circulares cresce ano após ano, em inventários realizados em reflorestamentos de empresas de base florestal.

De maneira geral, os autores florestais não dão tanta importância ao formato das parcelas, e pouco se discute quanto ao tamanho das unidades amostrais. Para Graves (1906) e Avery e Burkhart (1983), a localização exata

do centro amostral também é irrelevante, porém o centro ou início da unidade amostral devem ser determinados de maneira imparcial, evitando assim erros sistemáticos de locação.

Segundo Spurr (1971), citado por Pélico Netto e Brena (1997), é o método preferido na Europa, pois as parcelas são pequenas (com menor perímetro) e de fácil controle na instalação, com tempo de instalação reduzido e baixo custo.

O formato é aplicado no campo controlando apenas o raio correspondente à área pré-definida. Segundo Sanquette *et al.* (2009) a instalação de uma parcela circular requer o controle estrito do raio para garantir a inclusão das árvores, partindo do ponto central da amostra. Laar e Akça (2007) indicaramo método circular para áreas com grandes variações de espaçamento, ou maior variabilidade espacial entre os indivíduos.

O tamanho das parcelas varia conforme preferências técnicas, custos da atividade de coleta de dados, e implicações operacionais no campo (declividade, presença de sub-bosques, densidade de plantio, etc.); geralmente ficam entre 200 e 600 metros quadrados (m^2) de área. Para Sanquette *et al.* (2009), raios acima de 15 metros (m) são inoperáveis no campo, limitando a tamanho da UA até 700m².

4.10.1.2 *Unidades amostrais quadradas e retangulares*

É o modelo de unidade amostral mais antigo, indicada em levantamentos de florestas naturais, pois normalmente utilizam parcelas de grande porte entre 900 e 10.000m² de área (SANQUETTA *et al.*, 2009). Caracteriza-se por possuir ângulos retos entre seus lados, definindo o seu formato quadrado.

Laar e Akça (2007) afirmaram que as parcelas retangulares conseguem captar maior variabilidade que as quadradas, mesmo em florestas plantadas, onde as parcelas deveriam representar uma maior quantidade de linhas de plantios possíveis. Husch *et al.* (1982) afirmaram que parcelas retangulares, estreitas e compridas, normalmente captam maior a variabilidade das florestas, quando comparadas com as parcelas quadradas.

Sanquette *et al.* (2009) comentaram sobre a necessidade de balizamento mais cuidadoso, em alguns casos até exigindo a utilização de

equipamentos mais precisos como o teodolito por exemplo. Este fato acaba deixando as parcelas quadradas ou retangulares mais difíceis e demoradas de serem estabelecidas no campo que as circulares, prejudicando bastante a sua eficiência.

4.10.2 Métodos de Amostragem com Áreas Variáveis

São aqueles métodos onde o tamanho da UA não possui dimensões pré-estabelecidas, pois cada unidade amostral sofre variação de tamanho. Também são conhecidos como métodos alternativos (SANQUETTA *et al.* 2009), podendo substituir as metodologias tradicionais em inventários florestais que se desejam rapidez e eficiência. A literatura aponta como os métodos de áreas variáveis mais difundidos: o método concêntrico de Prodan (6P - seis árvores) e a amostragem por pontos de Bitterlich.

4.10.2.1 Método de Amostragem de Bitterlich

Esta metodologia também é conhecida como Ponto de Amostragem Horizontal, Amostragem de Raio Variável, Amostragem por Pontos, Amostragem por Contagem Angular (ACS), Método de Bitterlich, ou simplesmente Relascopia. Este termo deriva do Latim (Rela - contagem) e do grego (Skopein - olhar), que segundo Machado e Figueiredo Filho (2006) é um nome muito apropriado, pois neste método avalia-se diretamente a área basal de uma floresta basicamente olhando e contando árvores.

Husch *et al.* (1982) também o chamaram de inventário florestal moderno, e segundo Laar e Akça (2007) é amplamente reconhecido como um avanço na mensuração florestal, que foi originalmente concebido para a estimativa de área basal por hectare.

A amostragem de Bitterlich foi desenvolvida em 1942, por um engenheiro florestal austríaco chamado Walter Bitterlich (LAAR e AKÇA, 2007; SANQUETTA *et al.*, 2009), e é considerado por diversos autores como um método inovador (PÉLLICO NETTO e BRENA, 1997). Segundo Machado e Figueiredo Filho (2006) a metodologia polemizou os pesquisadores da época, pois o método fornecia diretamente a "Área Basal" ($m^2.ha^{-1}$), sem ao menos estabelecer unidades amostrais, sem necessidade de medir uma única árvore.

Grosenbaugh (1958) aprimorou o método para a determinação das

variáveis: volume, número de árvores, e fazer estudos de crescimento e produtividade.

A teoria baseia-se na realização de um giro de 360º ao redor de um ponto pré-determinado (centro da unidade amostral), contando todas as árvores cujos diâmetros observados sejam iguais ou superiores a uma abertura angular equivalente a $(2 \times \text{sen. } \theta/2)$, Péllico Netto e Brena (1997), distante de um ponto de referência conhecido, que coincide com o centro da unidade amostral (UA).

Para Laar e Akça (2007) o método baseia-se num ângulo crítico de observação que define a razão entre o "d" da árvore e a sua distância até o centro da amostra. As árvores cujos diâmetros forem maiores que o ângulo de visão (ou fator de área basal - FAB) serão contadas, e predirão o parâmetro de densidade do talhão em $\text{m}^2.\text{ha}^{-1}$.

Avery e Burkhart (1983) e Péllico Netto e Brena (1997), afirmaram que a escolha do FAB adequado é altamente dependente do tamanho médio das árvores, bem como da distribuição dos indivíduos amostrados.

Sobre a quantidade de árvores inseridas dentro do ponto de Bitterlich, o próprio Dr. Walter Bitterlich (1948), citado por Fiorentin *et al.* (2016), afirmou que 10 árvores ou mais já são suficientes para compor uma UA. West (2009) corrobora com os autores, afirmando que entre 10 e 15 árvores já se estabelece uma UA. Avery e Burkhart (1983), Péllico Netto e Brena (1997), Machado e Figueiredo Filho (2006), Finger (2006), Sanquette *et al.* (2009), sugerem que entre 20 a 30 árvores é um número seguro para se estabelecer uma unidade amostral por este método. Grosenbaugh (1958) afirmou que qualquer FAB ou K ou banda poderá ser utilizado para a determinação do volume, além das outras variáveis dendrométricas importantes, cabendo ao manejador à decisão da escolha, em função da precisão desejada e dos custos operacionais. O autor não impôs nenhuma restrição quanto ao número de árvores presente nas UA.

Finger (2006) afirmou que o uso de uma banda ou outra dependerá das características da população florestal, tais como: homogeneidade e densidade das florestas, do diâmetro das árvores, da variação diamétrica, e da experiência do operador (acuidade visual, firmeza e prática de campo).

4.10.2.2 *Método de Prodan (6P)*

Também conhecido como o Método das seis árvores, ou simplesmente 6P, é considerado como um método baseado em distâncias (ou raio), e foi apresentado neste formato pelo cientista Michail Prodan na Alemanha em 1968. Este método considera uma parcela composta por seis árvores mais próximas, e a distância da sexta árvore até o centro (PÉLLICO NETTO e BRENA, 1997).

Para Sanquetta *et al.* (2009) este método não é muito utilizado no Brasil, simplesmente por desconhecimento do seu potencial de precisão, e nas vantagens operacionais quando comparado com outros métodos. Os autores complementam que o fundamento básico desta metodologia é a medição das cinco primeiras árvores, considerar a 6^a árvore como árvore marginal (contada como meia árvore) e coletar o raio desta até o centro.

Pélico Netto e Brena (1997) destacaram que a decisão sobre o número de árvores medidas neste método teve como base o comportamento do coeficiente de variação do volume individual das árvores com relação ao número de árvores amostradas. Estes autores citam que, Prodan (1968) nos seus estudos, verificou a estabilização do coeficiente de variação a partir da 6^a árvore medida. Este autor fixou o número 6 como ótimo, minimizando o custo de medição de unidades amostrais.

Laar e Akça (2007) inserem o 6P entre os métodos de parcelas concêntricas, e é utilizado com sucesso em florestas em qualquer idade. Segundo os autores o método de Prodan foi concebido para a estimativa das variáveis agrupadas por unidade de área: área basal ($m^2.ha^{-1}$), número de árvores ($N.ha^{-1}$) e volume ($m^3.ha^{-1}$).

4.10.2.3 *Método Modular ou M25*

É uma variação do método de área fixa retangular ou quadrada, diferindo apenas na forma de calcular o tamanho da unidade amostral. Enquanto no método tradicional é necessário definir os limites da UA, no M25 são realizadas amostragens independentes para a variável "área da cova média", sendo então medidos no campo os espaçamentos tanto na linha quanto na entrelinha.

A área da unidade amostral é calculada multiplicando a área de cova média da parcela vezes o número de covas contidas no levantamento, sendo então utilizada a mesma sequência de análises hipsométricas, volumétricas e de processamento utilizados para o método de área fixa. Estimada a área de cova média, é possível calcular diretamente o número de covas por hectare do plantio florestal, e com as taxas de sobrevivência ou da ocupação das árvores tem-se a densidade ($N.ha^{-1}$).

O número 25 foi inspirado na literatura consultada (HUSH *et al.*, 1982; Avery e BURKHART, 1983; LAAR E AKÇA, 2007; PÉLLICO NETTO e BRENA, 1997; SANQUETTA *et al.*, 2009; entre outros), que afirma que um número entre 20 e 30 árvores (covas) sejam suficientes para se estabelecer uma unidade amostral em levantamentos de inventários florestais. Para esta pesquisa, a quantidade mínima de árvores dentro das UA foi estipulada em 25 covas de plantio, dispostas em 5 fileiras com 5 covas (árvores ou falhas).

4.10.3 Tamanho das Unidades Amostrais (UA)

Pélico Netto e Brena (1997), citaram Pearce (1935) que enfatizou que não há como afirmar qual é o melhor tamanho da UA, e que esta decisão dependerá do propósito do estudo. Os autores também citam Gomes (1957), Loetsch (1960), FAO (1963), Campos (1970), Spurr (1971) entre outros, que não definiram o tamanho ótimo das unidades amostrais, sendo decidido com base na experiência prática do técnico, e de um confronto entre precisão e custos.

Kohler (2017) e Druscz (2014) citaram Spurr (1952 e 1955), afirmando que a medição de 20 a 30 árvores é suficiente para compor uma unidade amostral, sendo que parcelas maiores são indicadas para amostrar árvores de grande porte ou em povoamentos mais abertos (menos densos).

Pélico Netto e Brena (1997) citaram Smith (1938) como o primeiro a estudar os tamanhos de unidades amostrais, demonstrando uma curva exponencial negativa entre o tamanho e o quadrado do erro médio (outros autores utilizaram o coeficiente de variação). Esta relação é conhecida como Indicador (ou Ponto) de Máxima Curvatura, permitindo identificar o tamanho ótimo das unidades amostrais, bem como o tamanho ideal da amostra.

Loetsch, Zöhrer e Haller (1973), também citados por Péllico Netto e Brena (1997), verificaram que com a duplicação do tamanho da unidade amostral, obtiveram o quádruplo da variância da variável (volume), ou o dobro do desvio padrão. Corroboração feita por Sanquetta *et al.* (2009), que com o aumento da variabilidade ocorrem quando se aumenta a área de referência das parcelas, este aumento na variância interna da parcela faz com que a variância entre as parcelas diminua, ou seja, comportamento inverso.

Segundo Laar e Akça (2007) o tamanho ideal da unidade amostral também está relacionado ao tipo de floresta, estrutura de plantio do talhão e da localização das unidades. Seus estudos indicam que na determinação do estoque de florestas nativas com baixa densidade de espécies com alto valor comercial, as unidades amostrais devem ser grandes, enquanto plantios homogêneos e clonais necessitam parcelas menores, sendo que o valor do coeficiente de variação de uma amostra diminui com o aumento do tamanho da UA, causando uma necessidade menor no número de unidade, podendo prejudicar a precisão dos resultados da amostragem.

Para Husch *et al.* (1982), o tamanho das unidades amostrais é bastante influenciado pela variabilidade da população florestal, sendo as de maior tamanho frequentemente mais eficientes que as menores. Considerando florestas mais homogêneas, a precisão tende a aumentar com a utilização de parcelas pequenas em maior quantidade. Já em florestas heterogêneas o coeficiente de variação das parcelas pequenas é maior as de grande tamanho, sendo necessário um maior número de unidades.

Foram tantos os trabalhos envolvendo tamanhos de unidades amostrais, mas nenhum deles conseguiram resolver o problema para definir os tamanhos de unidades amostrais Péllico Netto e Brena (1997), enfatizando que, quase sempre, é uma questão de equacionar o custo e a precisão desejada. Esses autores citam Péllico Netto (1968), que propôs o ajuste de uma função exponencial para correlacionar o coeficiente de variação (CV%) com tamanho de parcelas ou com o tamanho da amostra:

$$CV\% = a \cdot A^b$$

Em que: **CV** é o coeficiente de variação; **A** é área da UA ou tamanho amostral; **a** e **b** são os coeficientes ajustados da função.

Sob o foco na relascopia, o tamanho da UA será relativo à quantidade de indivíduos coletados no levantamento. Grosenbaugh (1958) não definiu qual é o melhor fator de área, bem como a quantidade ideal de árvores para compor um ponto de Bitterlich, esclarecendo que cada fator é uma ferramenta independente com potencial para estimação de variáveis. Marshall *et al.* (2004) comprovaram que utilizando combinações de fatores com varreduras independentes, uma para a área basal outra para volume, equilibraram precisão e custos de amostragem, e pareciam estar confortáveis ao medir menos de 10 árvores dentro de um giro.

4.10.4 Eficiência dos métodos de inventário

Freese (1962), citado por Pélico Netto e Brena (1997), propôs a inclusão dos tempos (ou custos) operacionais no cálculo da eficiência das unidades amostrais em diferentes tamanhos. Quanto maior a eficiência (EF), melhor é o método utilizado, e pode ser obtida aplicando a seguinte fórmula:

$$EF = \frac{1}{T \cdot CV\%^2}$$

Em que: T é o tempo gasto para a medição das UA, $CV\%$ é o coeficiente de variação.

Pélico Netto e Brena (1997) citaram trabalhos de Tello (1980) testando unidades amostrais circulares, quadradas e retangulares em diferentes tamanhos, obtendo as suas respectivas eficiências (EF) de inventários realizados em florestas de araucária no Sul do Brasil. Os resultados mostraram que as maiores eficiências ocorreram nas parcelas de 1.000 m² (a maior utilizada), e evidenciou que as parcelas circulares, em todos os tamanhos testados, obtiveram os melhores resultados, seguida pelas parcelas retangulares e finalmente as quadradas.

Cesaro *et al.* (1994) realizaram um experimento em *Pinus taeda* L. com 28 anos de idade e dois desbastes realizados, avaliando a eficiência de distintos métodos de amostragem. Os autores aplicaram o conceito de eficiência relativa desenvolvido por Husch *et al.* (1982), que correlaciona o erro padrão e o custo/tempo de mensuração de um determinado tamanho ou forma de unidades amostrais. Esta relação é expressa por:

$$EF\% = \frac{Sx1^2 \cdot t1}{Sx2^2 \cdot t2}$$

Em que: **EF%** = eficiência relativa; **Sx1** e **t1** = erro padrão (%) e custo/tempo para o tamanho ou forma nº 1; **Sx2** e **t2** = erro padrão (%) e custo/tempo para o tamanho ou forma nº 2.

4.11 SISTEMA E PROCESSAMENTO DE INVENTÁRIO

Mendes (1988) afirmou que o sistema de inventário florestal é o processo organizacional que tem função de gerar informações necessárias ao planejamento, programação, manejo e controle da produção florestal.

Trata-se do agrupamento de todas as atividades de um inventário florestal, desde o planejamento, da distribuição amostral, da realização da coleta de dados, e finalmente processamento e análises estatísticas dos dados.

O planejamento do inventário florestal deverá estar alinhado com os objetivos do trabalho, quando se define todas as variáveis dendrométricas de interesse, também a metodologia de amostragem, bem como a estimativa da quantidade de recursos utilizados.

A distribuição amostral trata do desenho amostral, e da escolha dos locais das unidades amostrais. Podendo ser aleatória ou sistemática (com suas variações).

Os recursos utilizados em um inventário florestal normalmente são altos, e são diversos: mão de obra envolvida, equipamentos utilizados, logística de transporte (veículo e sua manutenção, combustível, pedágios, etc.), alimentação e acomodação das equipes de coleta de dados pelo tempo necessário de permanência em campo, entre outros custos financeiros.

4.12 PRECISÃO, ACURACIDADE E ERROS EM INVENTÁRIOS

Husch *et al.* (1982) afirmaram que os termos "precisão" e "acuracidade" são frequentemente confundidos tanto em diálogos técnicos como no popular. Segundo os autores os significados são:

Precisão - significa o grau de aproximação entre uma série de medições sucessivas. Em amostragem é expressa como "desvio padrão" com relação à média dos valores obtidas nos levantamentos.

Acuracidade- também conhecido como "exatidão", é o quanto uma série de medições se aproximam do valor real da variável estudada da população.

Viés- são erros ocorridos durante o levantamento ou da aferição da variável de interesse. Pode ocorrer seguindo-se os procedimentos de amostragem erroneamente, problemas instrumentais, mal-uso do aparelho de medição, enganos nos registros de anotações, erros computacionais, etc.

Pélico Netto e Brena (1997) afirmaram que a precisão é indicada pelo erro padrão da média, não considerando erros não amostrais (referentes ao levantamento), sendo o desvio com relação à média da variável avaliada. A acuracidade é a variável que se quer conhecer, por sua vez expressa a magnitude dos desvios em relação à média real (parâmetro) da população, considerando os erros amostrais.

Esses autores afirmaram que precisão e custos em inventário florestais estão intimamente ligados, ou seja, uma implica na determinação da outra. A precisão mínima utilizada em inventários florestais comumente é de 10% (plantios) e 20% (nativas) para a variável volume por unidade de área, a desejável gira em torno dos 5% (colheita).

Finger (2006) explicou que uma estimativa é mais acurada quando maior é a aproximação do valor real (parâmetro). O autor afirmou que o estimador será mais preciso quanto menor for a variação encontrada entre as medidas tomadas.

Machado e Figueiredo Filho (2006) afirmaram que "erros" significam os desvios em relação ao valor real (parâmetro) em inventário florestal ocorrem por duas maneiras distintas:

Erros de amostragem - erros relativos ao processo estatístico de amostragem, também conhecido por erros de estimativas. A existência deste tipo de erro ocorre devido à medição de apenas parte da população, conhecido como amostra. O erro de amostragem é o único viés possível de ser estimado.

Erros não-amostrais - erros inerentes às medições, e são influenciados pelas dificuldades encontradas no levantamento de campo (topografia, sub-bosques, chuvas, temperatura), ou advindos de problemas instrumentais

(defeitos, ou não calibrados), por imperfeições humanas (falta de prática ou inabilidade instrumental, falha visuais, auditivas), ou ainda imperfeições dos indivíduos ou das variáveis de interesse.

Os autores sub-dividiram os erros "não-amostrais" em três grupos distintos:

Erros sistemáticos -causados por defeito de aparelhos ou por tendenciosidades operacionais, por falta ou excesso, ocorrendo sempre no mesmo sentido. São erros em geral acumulativos, em alguns casos podendo até serem ajustados, caso detectados em tempo hábil. Uma suta danificada, uma fita métrica deformada devido ao uso, pessoas mais altas ou baixas com "d" diferentes de 1,30 metros do solo, hipsômetros descalibrados, ou um medidor de distâncias eletrônico defeituoso são exemplos deste tipo de erro.

Erros compensantes - são os erros ocorridos independentemente do equipamento ou do operador. São os desvios positivos e negativos ocorrendo na mesma frequência e magnitude ao longo de uma série de medições. Também ocorrem devido à arredondamentos na ocasião da medição. Estes erros tendem a serem compensados nos levantamentos florestais.

Erros acidentais - também conhecidos como erros grosseiros, são os erros esporádicos que ocorrem por engano ou descuido do operador de medição, são facilmente detectáveis, possíveis de serem corrigidos, pois tornam-se "outliers" em uma análise matemática ou gráfica.

4.13 MAPEAMENTO NO INVENTÁRIO FLORESTAL

O conhecimento dos elementos de levantamento topográfico é essencial em um inventário florestal. O profissional da área deve estar apto a interpretar detalhes dos mapas plani-altimétricos, saber localizar os limites da população, identificar tipologias, as subdivisões dos talhões, realizar medições de ângulos e distâncias, noção de escala e estimativa das áreas. Segundo Avery e Burkhart (1983) nenhum inventário florestal confiável pode ser planejado sem o conhecimento dos limites da população.

Segundo West (2009), é essencial se ter uma visão imparcial do tamanho das populações inventariadas, uma vez que os resultados da

amostragem são multiplicados pelas áreas (projeções ortogonais da superfície) para determinar a estimativa final de tudo o que está sendo medido dentro da floresta. Qualquer erro na área florestal é imediatamente transferido para o resultado final; área inexatas são muitas vezes as maiores fontes de erro em uma estimativa de estoque.

Segundo Graves (1906), na mensuração florestal o fator área efetiva da população florestal é mais importante que a escolha do tamanho ou formato da unidade amostral. De fato, a área efetiva do plantio influencia diretamente nos resultados dos censos, interferindo no cálculo das variáveis agrupadas por unidade de área ($V.ha^{-1}$, $G.ha^{-1}$ e $N.ha^{-1}$) e no cálculo da distribuição diamétrica.

West (2009) também afirmou que a medição de uma população florestal pode ser uma tarefa difícil, serviço que normalmente necessitam profissionais e equipamentos especializados. Segundo o autor "é particularmente difícil definir exatamente o que está sendo incluído dentro da área da população florestal".

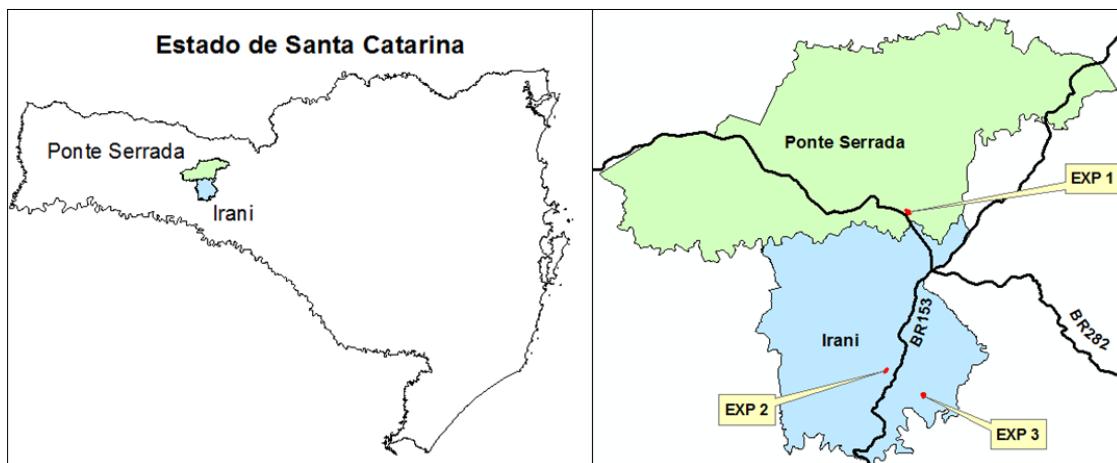
5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

5.1.1 Localização dos experimentos

Os dados da pesquisa foram coletados em três povoamentos de *Pinus taeda* L., localizados nos municípios de Irani e Ponte Serrada, ambas no estado de Santa Catarina - Brasil, às margens da BR-153 (experimentos 2 e 3) e BR-282 (experimento 1), entre as latitudes $26^{\circ}54'2,2''$ e $27^{\circ}05'29,8''$ Sul e longitudes $51^{\circ}56'43,3''$ e $51^{\circ}48'57,7''$ Oeste, conforme demonstrado na Figura 1. A região pertence à bacia hidrográfica do Rio Uruguai, conhecida como Meio-Oeste Catarinense, região de ocorrência original das matas das araucárias (FOM - Floresta Ombrófila Mista), pertencente ao bioma da Mata Atlântica. A topografia predominante nesta região é de superfície ondulada e fortemente ondulada, com altitudes variando entre 950 e 1.150 metros. Segundo o boletim da EMBRAPA (2014), os solos são de origem de rocha vulcânica (basálticas), predominantemente argilosos de textura média (Latossolos: bruno, roxo, vermelho-escuro; e cambissolos). O clima segundo a classificação de Köppen, é o subtropical úmido, mesotérmico (temperado propriamente dito - Cfb), com temperaturas médias anuais de 17° C, apresentando quatro estações do ano bem definidas, sem estação seca, com verões brandos e geadas severas no inverno. A precipitação anual é de 2.000 mm, com umidade relativa do ar variando entre 80 e 85% (EMBRAPA, 2014).

Figura 1 Municípios onde estão localizados os Experimentos



Fonte: autor; Base cartográfica: IBGE

5.1.2 Descrição das áreas

Os três plantios de *Pinus taeda* L. foram escolhidos em função de suas idades, relevos, sub-bosques, situação de desramas, e estágio de manejo florestal, com a intenção de avaliar o desempenho das metodologias de inventários florestais em situações diversas. As principais características dos três experimentos estão descritas no Quadro 1. As Figuras 2, 3 e 4 detalham a localização das três áreas experimentais.

Quadro 1 Principais características dos experimentos

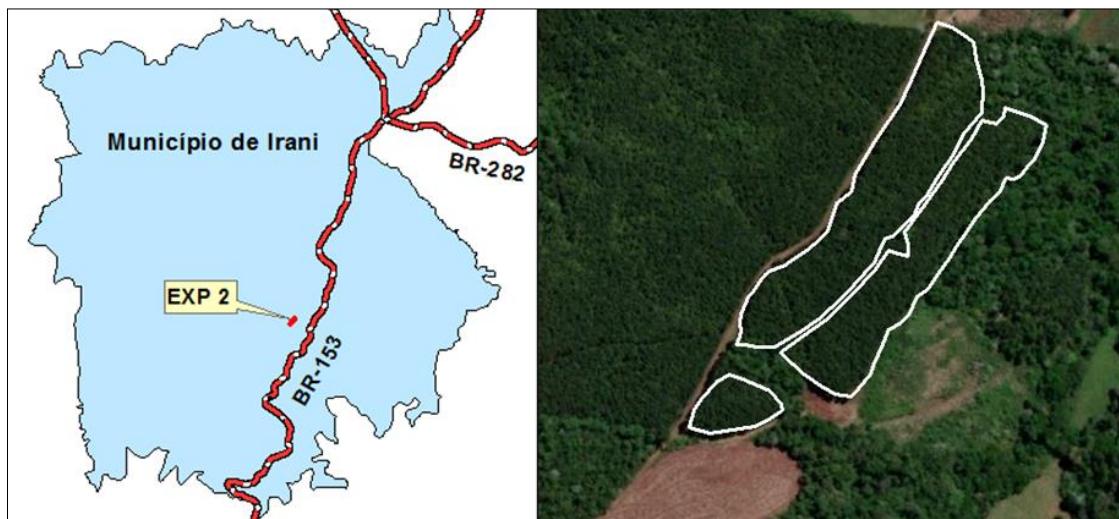
Características	Experimento 1	Experimento 2	Experimento 3
Sigla	EXP1	EXP2	EXP3
Localização	Ponte Serrada/SC	Irani/SC	Irani/SC
Proprietário	Celulose Irani SA	Volmar Pivetta	Volmar Pivetta
Área (ha)	5,72	2,92	4,16
Idade (anos)	12,3 (jun/21)	12,9 (mai/20)	17,6 (jan/20)
Espaçamento	2,5x2,5m	2,5x2,5m	2,5x2,5m
Altura da poda	Não	Sim (2,5m)	Sim (2,5m)
Desbaste/Raleio	Não	Sim (40%)	Sim (30%+30%)
Topografia	Suave ondulado	Ondulado	Plano
Sub-bosque	100% limpo	50% do solo	50% do solo
Coordenadas (UTM, SIRGAS 2000)	X= 412.968 Y= 7.022.108	X= 410.930 Y= 7.007.357	X= 414.416 Y= 7.005.006

Figura 2 Detalhamento da localização do EXP1



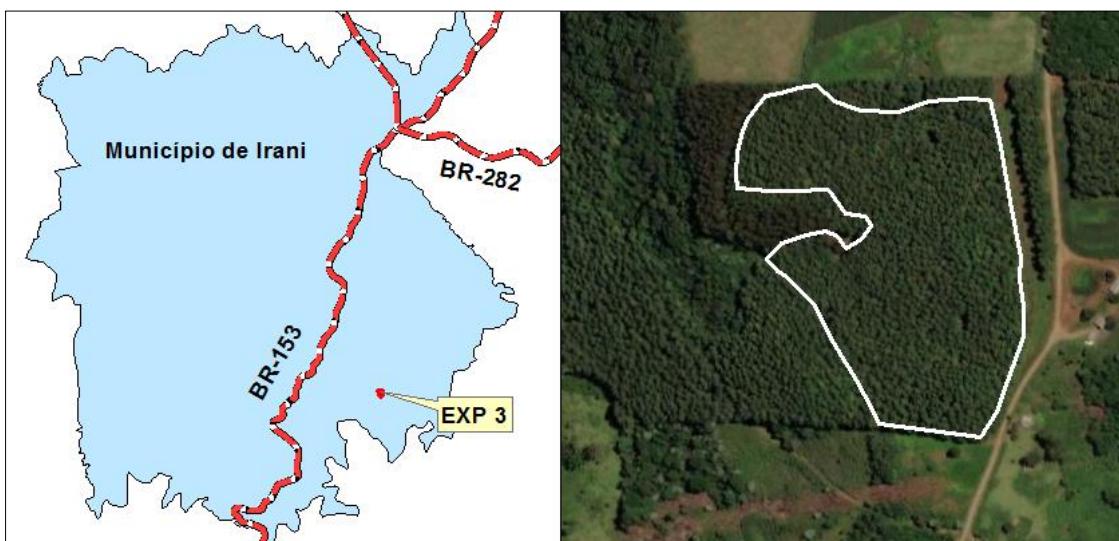
Fonte: O autor; imagem: ESRI; base cartográfica: IBGE e Celulose Irani S.A.

Figura 3 Detalhamento da localização do EXP2



Fonte: O autor; imagem: ESRI; base cartográfica: IBGE.

Figura 4 Detalhamento da localização do EXP3



Fonte: O autor; imagem: ESRI; base cartográfica: IBGE.

Obs.: O EXP3 apresenta linha de desbaste sistemático variado, ora na 10^a, 11^a, 12^a e 13^a linhas.

5.2 MENSURAÇÃO FLORESTAL

A coleta de dados das unidades amostrais foi executada por uma equipe formada por dois integrantes (Chefe de equipe e auxiliar de medição), um terceiro componente foi adicionado nas medições dos censos, para as marcações de todas as árvores dos 3 talhões. Um quarto técnico, com

atribuições em topografia, realizou as medições das áreas experimentais 2 e 3 (áreas desbastadas).

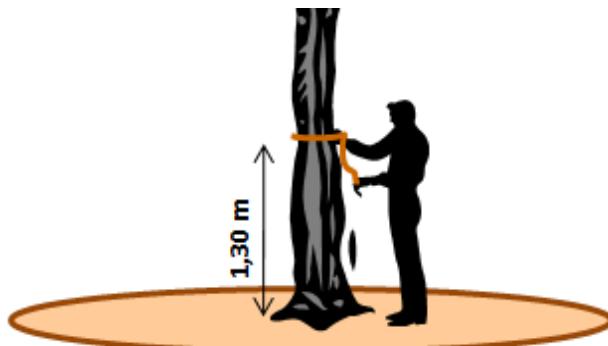
Nas três áreas foram testados os mesmos métodos de amostragens, e critérios de medições das árvores (equipamentos e variáveis dendrométricas).

5.2.1 Variáveis dendrométricas e equipamentos de medições utilizados

As variáveis dendrométricas mensuradas em todo levantamento de campo foram:

- **c** - Circunferência à altura do peito em centímetros, referenciados a 1,30 metros acima do solo (Figura 5). Todas as árvores das unidades amostrais tiveram suas circunferências medidas, independentemente do método utilizado.

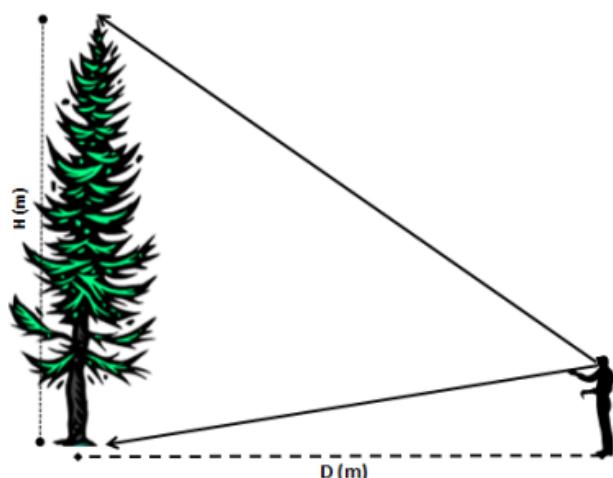
Figura 5 Ilustração da medição do "c" (1,30m)



Fonte: O autor

- **h (Altura total)**- Medição de parte das alturas totais das árvores das unidades amostrais, da base ao nível do solo até a ponta da copa (Figura 6).

Figura 6 Medição das alturas totais



Fonte: O autor

Para os métodos de inventário que utilizam áreas fixas foram medidas as alturas totais de 15 a 20% das árvores das unidades amostrais. Nas unidades amostrais circulares foram selecionadas as árvores das duas fileiras centrais, e nas retangulares as árvores das duas primeiras fileiras. Adicionalmente foram medidas as alturas dominantes (hdom), conforme a regra das 100 árvores mais grossas por hectare, segundo postulado de ASSMANN-HUMMEL (MACHADO e FIGUEIREDO FILHO, 2006). No método de Prodan foram medidas as alturas das 5 primeiras árvores, as mesmas utilizadas para a Relascopia.

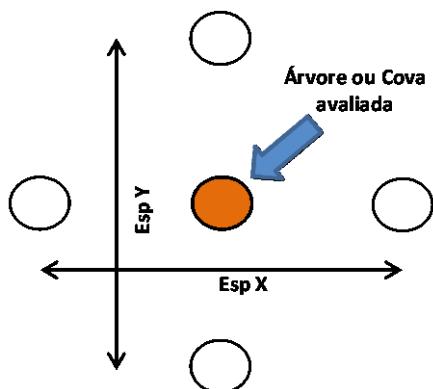
Para o método M25 foram medidas as alturas totais das cinco primeiras árvores, contadas a partir da primeira cova de cada módulo de 25 covas, adicionando as alturas das árvores mais grossa e fina (no mínimo 5 alturas).

As alturas das árvores atacadas severamente por macaco prego, das árvores quebradas (por qualquer motivo), ou que contenham partes comerciais comprometidas também foram medidas.

- **qualificação das árvores** - Foram inseridos códigos de qualidades individuais em cada árvore: Falhas (sem árvores), árvores desbastadas (sem árvores), árvores dominantes, mortas, bifurcadas, tortuosas, dominadas (suprimidas), quebradas vivas, duplas (múltiplas), atacadas por vespa da madeira, atacadas por macaco-prego, inclinadas, etc.

- **Espaçamento entre covas** - medição linear entre 3 árvores, com correção da declividade, sendo que a árvore do meio é que foi avaliada para o método M25 (Figura 7).

Figura 7 Medição dos Espaçamentos



Fonte: O autor

• **Equipamento de medição** - Os equipamentos de medições utilizados nos levantamentos foram:

- Hipsômetro digital da marca Haglöf (Figura 8A);
- Trena eletrônica Bosch modelo GLM 80 Professional (Figura 8B);
- Tablet Samsung Galaxy A6 7.0" (Figura 8C);
- Fitas métricas, trenas, Suta Haglöf (cubagens) e paquímetro (cubagens) (Figura 8D);
- Medidor de área basal (Figura 8E);
- GPS de navegação Garmin modelo GPSmap 60CSx (Figura 8F); e
- Softwares de apoio: AvenzaMaps e APP Microsoft Excel.

Figura 8 Equipamentos e dispositivos utilizados nos inventários florestais



Fonte: O autor

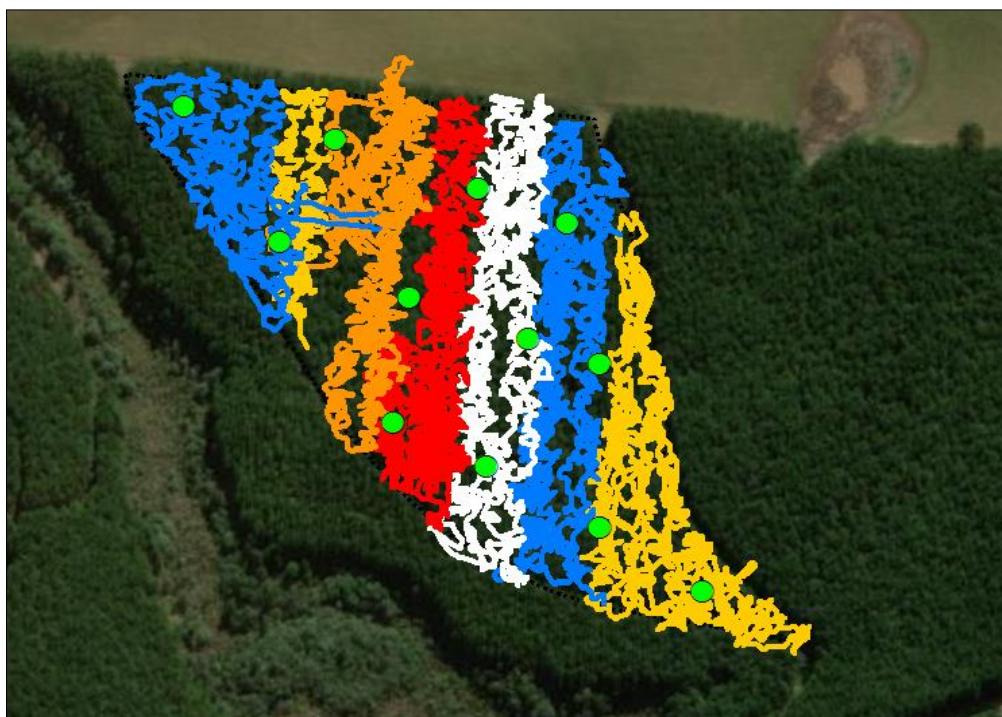
5.2.2 Realização do censo (Inventário 100%)

Foram medidos os "c" de todas as árvores dos experimentos, bem como a avaliação dos códigos de qualidades individuais das mesmas, e eventualmente as alturas das árvores quebradas ou troncos mortos.

Foram determinados diretamente no censo, os parâmetros do número de árvores ($N.ha^{-1}$), os "d" (diâmetro à altura do peito), % de qualidade, e área basal ($G.ha^{-1}$). As alturas das árvores do censo foram estimadas utilizando funções hipsométricas gerais específicas de cada área, ajustadas com as alturas medidas na fase de amostragem de todos os métodos. Para o cálculo do volume individual, foram realizadas cubagens rigorosas específicas para cada local (detalhado no item 5.2.5.1 *Equações volumétricas*).

As medições foram realizadas por três pessoas, um terceiro membro da equipe foi adicionado apenas para a marcação das árvores, evitando assim remedições das mesmas. A Figura 9 apresenta as faixas de medições executadas no primeiro experimento, que basicamente significa os períodos ou dias trabalhados, sendo modelo para as outras duas áreas. Os pontos verdes são as posições aproximadas das unidades amostrais.

Figura 9 Faixas de medições do censo do EXP1

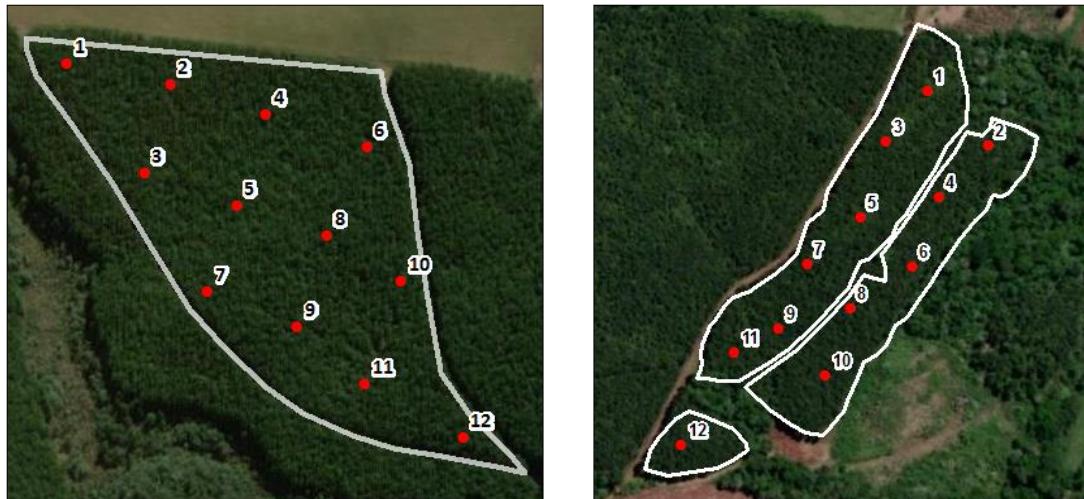


Fonte: O autor; Imagem ESRI

5.2.3 Inventário florestal por amostragem

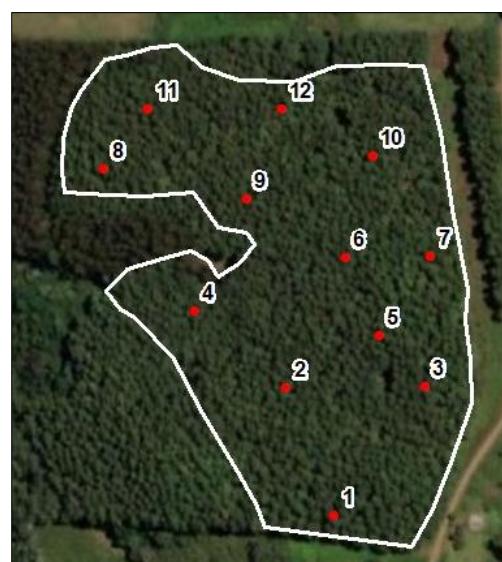
Foi adotada, em todos os experimentos, a distribuição amostral sistemática com início aleatório, sendo que em cada área foram posicionados 12 pontos amostrais, totalizando 36, conforme apresentados na Figura 10. (Coordenadas UTM, vide Anexo).

Figura 10 Distribuição Amostral dos experimentos



A) Experimento 01 (SDB)

B) Experimento 02 (1DB)

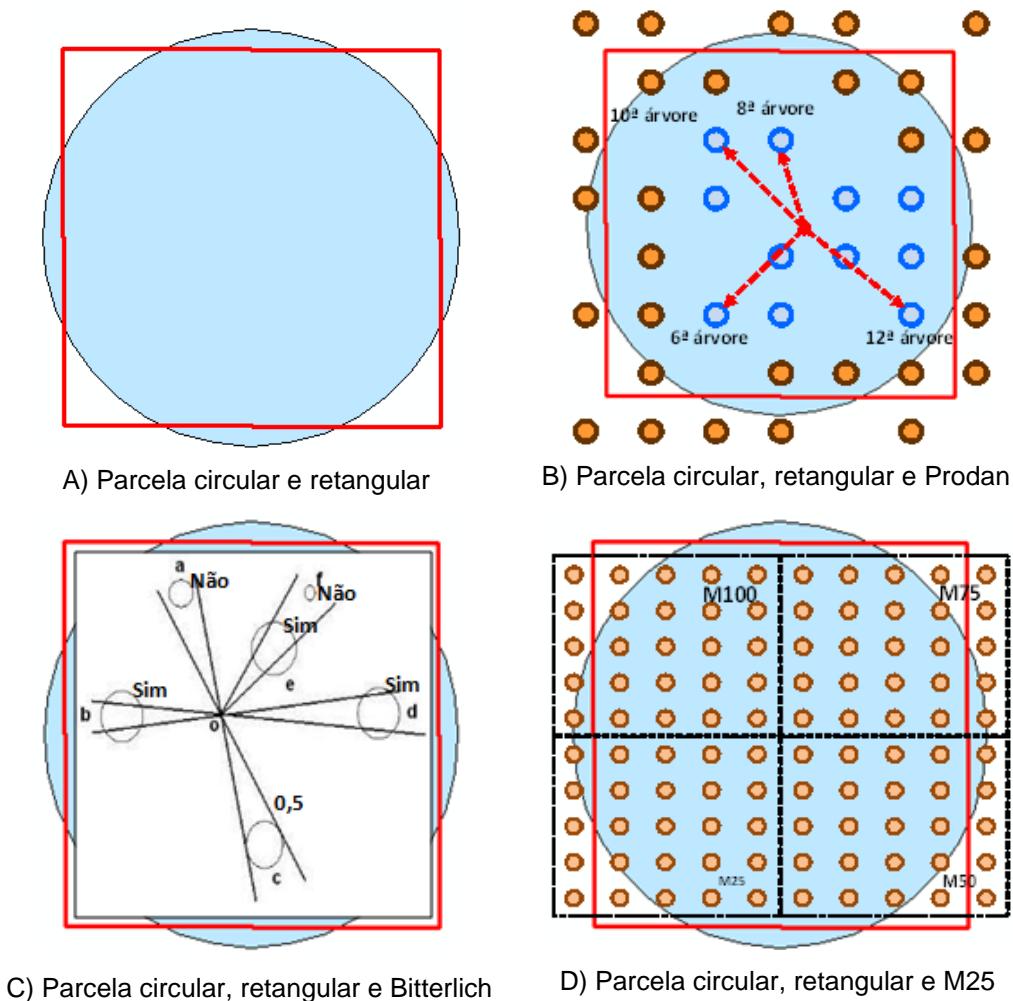


C) Experimento 03 (2DB)

Fonte: O autor, Imagens: BING

Todos os tratamentos foram aplicados nos mesmos pontos amostrais, conforme o esquema apresentado na Figura 11.

Figura 11 Aplicação simultânea dos cinco desenhos amostrais



Fonte: O autor

Além do censo realizado nas 3 áreas, foram testados mais 20 tratamentos de amostragem, variando a forma e o tamanho das unidades amostrais, conforme a descrição contida na Tabela 1.

Tabela 1 Tratamentos utilizados nos experimentos

Método	Formato	Tamanhos	Tratamento
Inventário 100%	Censo	-	Censo
		600m ²	C600
	Circular	400m ²	C400
		200m ²	C200
UA de área fixa		625m ²	R625
	Retangular	400m ²	R400
		225m ²	R225

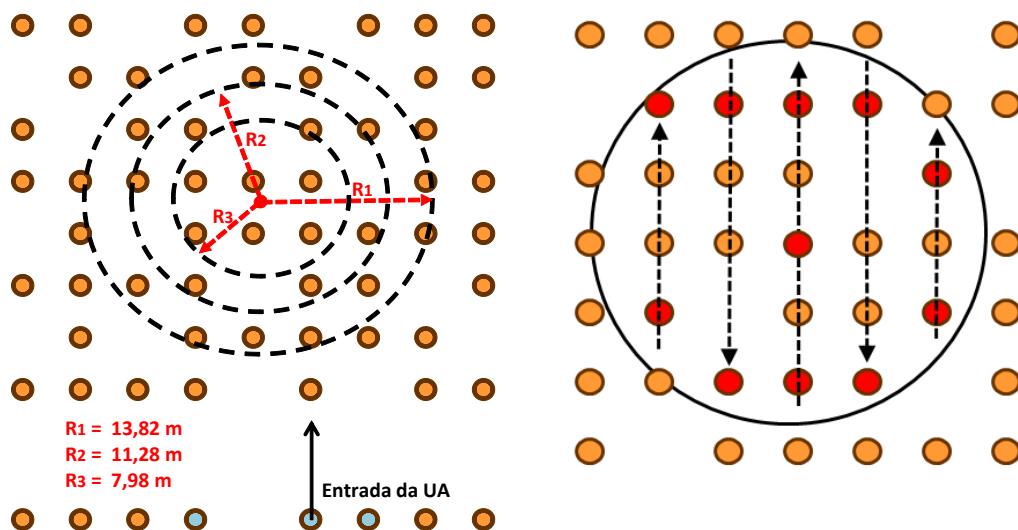
UAdé área variável	Modular ou M25	100 covas	M100
		75 covas	M75
		50 covas	M50
		25 covas	M25
Prodan	Prodan	12 árvores	P12
		10 árvores	P10
		8 árvores	P8
		6 árvores	P6
Bitterlich	Bitterlich	FAB = 1m ²	K1
		FAB = 1,5m ²	K1,5
		FAB = 2m ²	K2
		FAB = 4m ²	K4
		FAB = 6m ²	K6
		FAB = 10m ²	K10

Em que: **FAB** é fator de área basal; **C** indicação dos tratamentos circulares; **R** para os tratamentos retangulares; **M** para os tratamentos M25; **P** para os tratamentos de Prodan; **K** para os tratamentos de Bitterlich; **m²** metro quadrado.

5.2.3.1 *Parcelas circulares*

Foram instaladas unidades amostrais circulares com tamanhos de 200, 400 e 600 m², com raios variando de 7,98, 11,28 e 13,82 metros respectivamente. A Figura 12 apresenta o delineamento das UA.

Figura 12 Desenho da unidade amostral circular



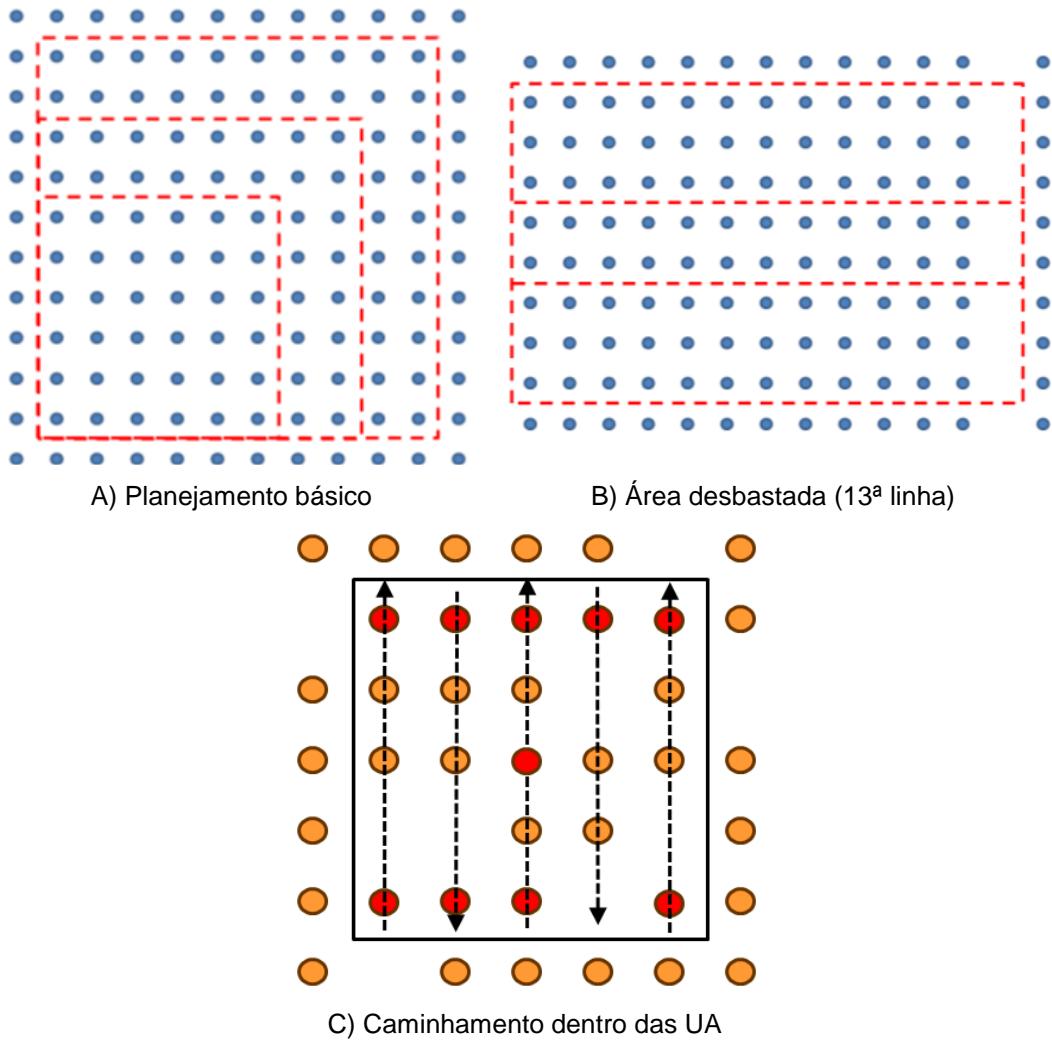
Fonte: autor

Foram aferidas as distâncias de todas as árvores até o centro da unidade amostral para definir os indivíduos em cada tratamento.

5.2.3.2 *Parcelas quadradas e retangulares*

Foram instaladas unidades amostrais de 225, 400 e 625 metros quadrados (m^2), cujas dimensões foram respectivamente 15x15 m (6 linhas com 6 árvores/covas), 20x20 m (8 linhas com 8 covas/árvore) e 25x25 m (10 linhas com 10 covas/árvore). No EXP3, as dimensões das UA alteravam-se conforme a variação da linha de desbaste sistemático, realizados na 10^a, 11^a, 12^a e 13^a linha. A Figura 13 apresenta a disposição das unidades amostrais quadradas e retangulares.

Figura 13 Desenho da UA com formato quadrado e retangular



Fonte: autor

5.2.3.3 Estabelecimento da UA de área fixa e mensuração das variáveis dendrométricas

A) Área das UA circulares: medição do raio da unidade amostral normalmente realizada utilizando trenas de carretel ou rolo, dispositivos eletrônicos de medições de distâncias (laser, ultrassônico, etc.), ou até mesmo com cordas e cabos de aço aferidos. Neste trabalho utilizou-se uma trena eletrônica que corrige a declividade do terreno automaticamente. A área da unidade amostral é obtida em metros quadrados, segundo a seguinte fórmula matemática euclidiana (SANQUETTA et al., 2009):

$$\text{Área UA} = \pi \cdot R^2$$

Em que: **ÁreaUA** é a área do círculo (m^2); **π** é 3,1415... (constante PI); e **R** é o raio da unidade amostral (metros).

B) Área das UA retangulares e quadradas: As áreas das unidades amostrais são calculadas segundo as seguintes fórmulas matemáticas euclidianas (SANQUETTA et. al., 2009):

Parcelas quadradas

Parcelas retangulares

$$\text{Área UA} = l \cdot l = (l^2)$$

$$\text{Área UA} = B \cdot l$$

Em que: **B** e **l** são os lados dos polígonos em metros e **ÁreaUA** é a área da UA em m^2 .

C) Fator de área (F): Outro indicador importante, descrito nos trabalhos de Péllico Netto e Brena (1997), Husch et. al. (1982), Avery e Burkhart (1983), Sanquetta et. al. (2009), entre outros, é o Fator de Proporcionalidade (F). Este número adimensional, correlaciona a unidade do hectare com o tamanho da unidade amostral:

$$F = \frac{A}{a}$$

Em que: **A** é 10.000 m^2 (1 hectare) e **a** é o tamanho da UA em m^2 .

Na prática o "F" é o fator de extração para a unidade de área "hectare" (ha), para as variáveis por unidade de área: volume, número de

árvores e área basal. O fator de proporcionalidade diminui com o aumento da área da unidade amostral, conforme mostrado na Tabela 2.

Tabela 2 Área da UA versus Fator de Proporcionalidade (F)

Tamanho da UA (m ²)	F
200	50,0
300	33,3
400	25,0
500	20,0
600	16,7
700	14,3
800	12,5
900	11,1
1000	10,0

D) Obtenção das variáveis dendrométricas agrupadas por unidade de área (G, N e V): A literatura (PÉLLICO NETTO e BRENA, 1997; HUSCH, *et al.*, 1982; AVERY e BURKHART, 1983; LAAR e AKÇA, 1997; SANQUETTA *et al.*, 2009) descrevem as fórmulas das variáveis dendrométricas agrupada por unidade de área para os métodos de áreas fixas (circular, quadrada ou retangular) como:

G.ha⁻¹ (área basal por hectare)

Área basal por hectare

$$G \text{ ha}^{-1} = \sum_{i=1}^n g_i \cdot F$$

Área transversal (individual)

$$g_i = \frac{\pi \cdot d^2}{40000}$$

Em que: $\sum_{i=1}^n g_i$ é a soma das áreas transversais da UA; F é o fator de conversão para unidade de área; d é o diâmetro à altura do peito das árvores "i" (cm); e π é a constante PI.

N.ha⁻¹ (número de árvores por hectare)

$$N \text{ ha}^{-1} = n \cdot F$$

Em que: n é a contagem das árvores da UA e F é o fator de conversão para unidade de área (ha/ha).

Vha⁻¹ (volume por hectare)

$$V \text{ ha}^{-1} = \sum_{i=1}^n v_i \cdot F \quad v = f(d, h, \text{forma})$$

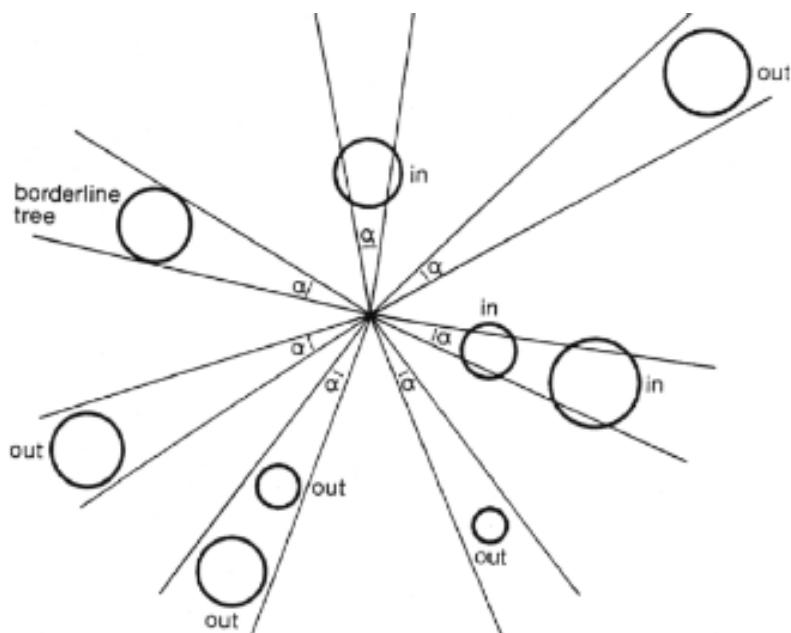
Em que: $\sum_{i=1}^n v_i$ é soma dos volumes individuais da UA; F é o fator de conversão para unidade de área; d é o diâmetro da árvore (cm); e h é a altura da árvore (m). A **forma** pode ser o fator de forma, a equação de volume ou função de afilamento.

5.2.3.4 Pontos amostrais de Bitterlich

Os giros de 360° da amostragem de Bitterlich (Figura 14) foram feitos a partir dos mesmos centros das UA circulares, e cada árvore dentro da UA foi contabilizada utilizando o FAB=1.

Todas as árvores, duvidosas ou não, tiveram suas circunferências medidas, e também as suas respectivas distâncias até o centro da UA, com correção automática da declividade do terreno. Esse procedimento permitiu a verificação de todos os indivíduos para inclusão nas UA, bem como o reagrupamento das árvores dentro de cada tratamento Bitterlich testado nesta pesquisa (FAB igual a 1, 1,5, 2, 4, 6 e 10).

Figura 14 Esquema do giro de Bitterlich



Fonte: LAAR e AKÇA (2007)

Neste método não foi medida nenhuma altura, utilizando as alturas medidas pelo método de Prodan (5 árvores mais próximas).

5.2.3.4.1 Determinação das variáveis dendrométricas pelo método de Bitterlich

Para a estimativas de área basal, número de árvores e volume por hectare foram utilizadas as seguintes expressões (GROSENBAUGH, 1958):

A) Área basal por hectare ($G.ha^{-1}$): Para a obtenção da área basal ($m^2.ha^{-1}$), basta multiplica o FAB selecionado pela quantidade de árvores contadas dentro da unidade amostral de Bitterlich.

$$G.ha^{-1} = FAB \cdot n$$

Em que: $G.ha^{-1}$ é a área basal; n é o número de árvores contadas na UA; e FAB é o Fator de área basal.

B) Número de árvores por hectare ($N.ha^{-1}$): A estimativa do número de árvores por hectare foi obtida por meio da multiplicação do número de árvores contadas dentro da UA pela divisão do valor de FAB escolhido pela área transversal média das árvores pertencente as UAs de Bitterlich.

$$N.ha^{-1} = \sum \left(\frac{FAB}{g_i} \right)$$

Sendo: g_i é a área transversal de cada árvore incluída no ponto de Bitterlich(PB) e FAB representa o fator de área basal.

C) Volume por hectare ($V.ha^{-1}$): O volume por hectare ($m^3.ha^{-1}$) é a principal variável dendrométrica obtida em um inventário florestal, sendo o indicador de quantidade de madeira, e fundamental para as análises estatísticas. O cálculo é feito pela multiplicação do $N.ha^{-1}$ pelo volume médio individual das árvores pertencente às UA.

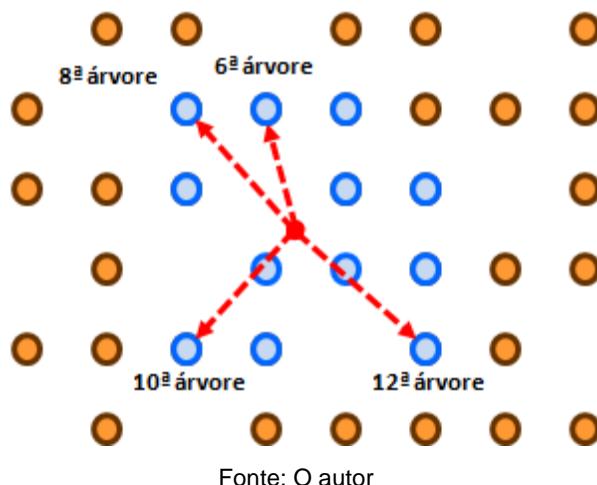
$$V.ha^{-1} = \sum \left(\frac{FAB}{g_i} \right) \cdot v_i$$

Em que: $\sum \left(\frac{FAB}{g_i} \right)$ ou $N.ha^{-1}$ é o número de árvores por hectare, e v_i é o volume individual das árvores incluídas no ponto de Bitterlich.

5.2.3.5 Método de Prodan (6P)

Nesta pesquisa foram testadas quatro variações de tamanhos de UA: o modelo tradicional feito com apenas 6 árvores (postulado original de Prodan de 1968), e as variações com oito, dez e doze árvores mais próximas do centro amostral (o mesmo utilizado para a realização das UA de áreas fixas circulares e dos pontos de Bitterlich). A Figura 15 apresenta o croqui da unidade amostral de Prodan com as suas modificações (com 6, 8, 10 e 12 árvores).

Figura 15 Unidade amostral de Prodan



Fonte: O autor

Foram medidas as alturas totais das cinco primeiras árvores, bem como as distâncias do centro até o meio da sexta, oitava, décima e décima segunda árvore (conforme postulado no método de Prodan para o cálculo do tamanho da UA).

5.2.3.5.1 Determinação das variáveis dendrométricas pelo método de Prodan

O número de árvores por hectare, área basal por hectare e volume por hectare foram estimados, seguindo-se os princípios da proporcionalidade do método de Prodan apresentados por Péllico Netto e Brena (1997), modificado por Farias *et al.* (2019):

A) Área basal por hectare (G.ha⁻¹): O estimador da área basal (m².ha⁻¹) é expresso pela seguinte fórmula.

$$G \text{ ha}^{-1} = \frac{(d_1^2 + d_2^2 + d_3^2 + \dots + \frac{d_n^2}{2})}{R_n^2} \cdot (2500) \quad (2500)$$

Em que: $G \text{ ha}^{-1}$ é a área basal por hectare ($\text{m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$); $d_1, d_2 \dots d_n$ são os diâmetros das árvores mensuradas na unidade e R_n é o raio da enésima árvore mensurada na UA.

B) Número de árvores por hectare ($N \text{ ha}^{-1}$): O estimador do número de árvores é expresso pela seguinte fórmula.

$$N \text{ ha}^{-1} = \frac{(n - 0,5) \cdot (10000)}{\pi \cdot R_n^2}$$

Em que: $N \text{ ha}^{-1}$ é o número de árvores por hectare ($N \text{ ha}^{-1}$); n é a contagem da enésima árvore; π é a constante PI.; n é o número de árvores na unidade; e R_n é o raio da enésima árvore mensurada na unidade em metros.

C) Volume por hectare ($V \text{ ha}^{-1}$): O estimador do volume ($\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$) é expresso pela seguinte fórmula.

$$V \text{ ha}^{-1} = \frac{(v_1 + v_2 + v_3 + \dots + \frac{v_n}{2})}{\pi \cdot R_n^2} \cdot (10000) \quad (10000)$$

Em que: $V \text{ ha}^{-1}$ é o volume total por hectare ($\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$); π é a constante PI; $v_1, v_2 \dots v_n$ são os volumes das árvores mensuradas na unidade; e R_n é o raio da enésima árvore mensurada na unidade em metros.

5.2.3.6 Método modular ou M25

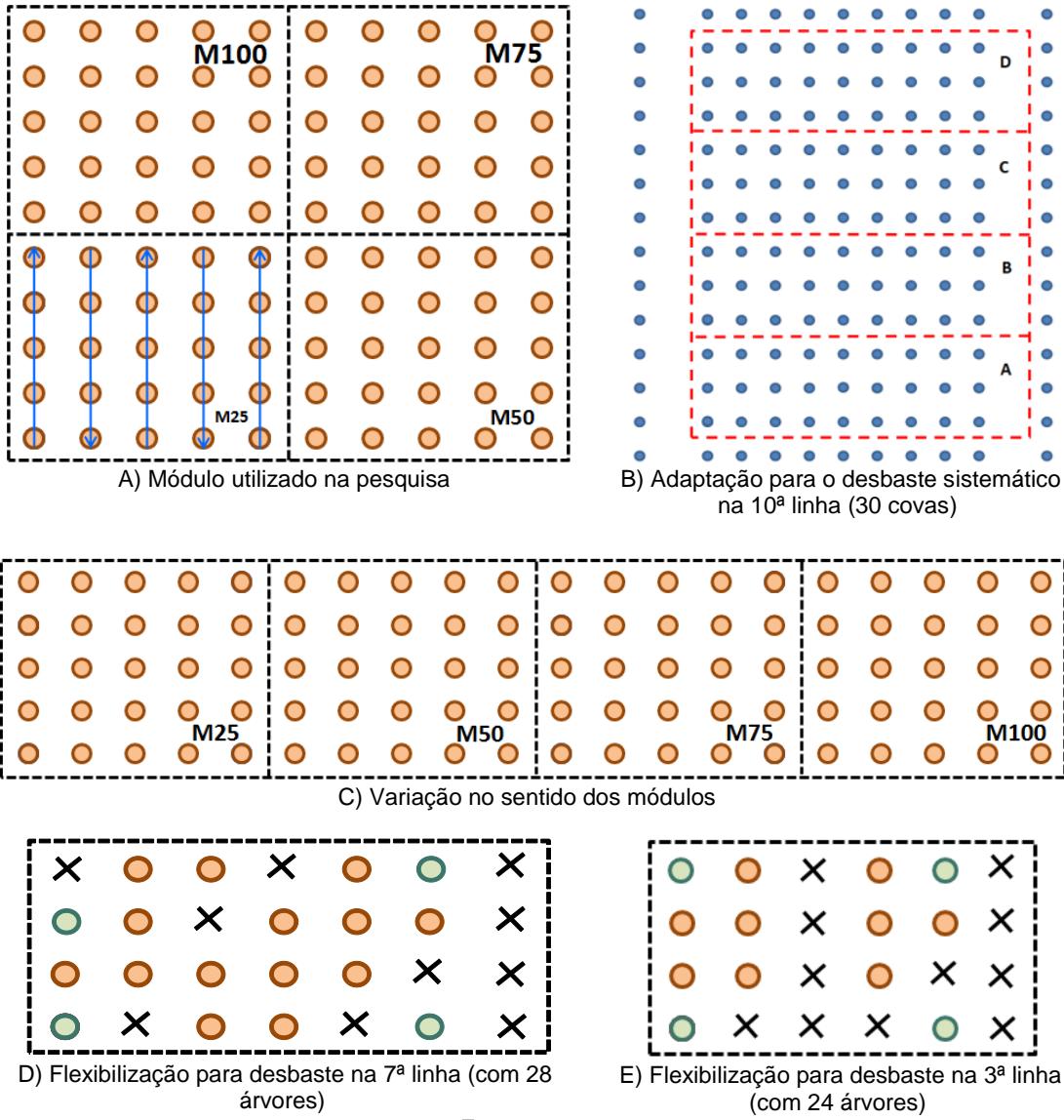
Este método alternativo se baseia no formato retangular ou quadrado, com medições de espaçamentos médios e medições básicas de inventários tradicionais: medição de 100% dos "c" dentro da UA; parte das alturas das árvores da unidade amostral; e avaliação da qualidade individual de cada árvore.

Não existe a necessidade esquadramento ou delimitação dos limites da UA, seu tamanho é obtido de forma indireta, resultante da multiplicação do número de covas avaliadas no módulo, pela área média das covas obtidas das medições dos espaçamentos da UA. Também é possível por meio do espaçamento se obter diretamente o número de covas por hectare teórico.

O número de 25 covas (com árvores ou falhas) é apenas uma adaptação, podendo assumir quaisquer tamanhos ou formato, o que importa é

o número de árvores que se queira incluir na UA conforme simulação mostrada na Figura 16.

Figura 16 Unidade amostral M25 e suas variações de tamanhos

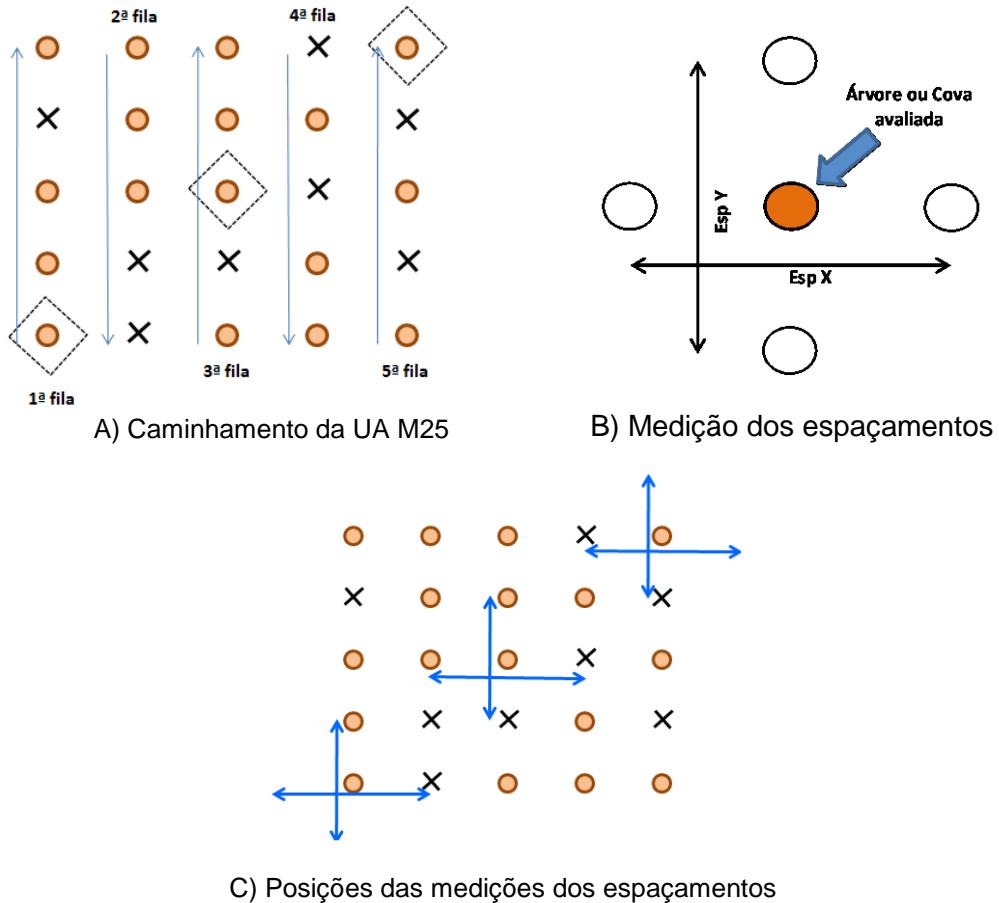


Fonte: autor

Neste trabalho foram medidos apenas três espaçamentos por módulo de 25 covas. Para as variações de tamanho M50, M75 e M100, foram medidos seis, nove e doze espaçamentos respectivamente.

A variável "espaçamento médio" é de fundamental importância no método M25, é utilizado na obtenção da superfície da UA de forma indireta, e também permite o cálculo do número de árvores por hectare teórico de um plantio sistemático. A Figura 17 apresenta a instalação de uma parcela M25 padrão.

Figura 17 Medição do espaçamento na unidade amostral M25



Fonte: autor

5.2.3.6.1 Determinação das variáveis dendrométricas do método M25

Para a obtenção da área da unidade amostral e das demais variáveis dendrométricas agrupadas ($V.ha^{-1}$, $G.ha^{-1}$ e $N.ha^{-1}$) foram utilizados os seguintes procedimentos matemáticos:

A) Tamanho da UA do método M25: O cálculo da área média de covas é o primeiro passo, inferindo a área média que as árvores ocupam no terreno, e utilizando o espaçamento medido entre 3 covas (ou árvores), nos dois sentidos de plantio ($x;y$). A fórmula da área da cova ocupada por uma árvore é dada como:

$$A_{cova} = \frac{Esp(x) \cdot Esp(y)}{4}$$

Em que: **Acova** é a área ocupada por cada cova (m^2); **Esp (x)** é a distância entre árvores na linha de plantio; e **Esp (y)** é a distância entre linhas de plantios.

Existem "n" opções para a sistematização do método M25, dependerá do espaçamento planejado do plantio, e de qual linha o desbaste sistemático retirou (devidamente representado de maneira proporcional dentro destas unidades amostrais). O tamanho da unidade amostral é obtido multiplicando-se a área média de cova (m^2) e o número de covas observadas do módulo utilizado, conforme a fórmula:

$$A_{UA} = A_{cova} \cdot N_{cova}$$

Em que: **A_{UA}** é a área da unidade amostral em m^2 ; **A_{cova}** é a área média da cova da UA (determinada pelas 3 medições de espaçamentos por módulo de 25 covas); e **N_{cova}** é o número de covas observadas na UA.

A Tabela 3 apresenta o tamanho estimado para as unidades amostrais, em função do tamanho do espaçamento do plantio e o número de covas observadas na UA.

Tabela 3 Tamanhos esperados para as UA no método M25

Espaçamento Original (m)	Manejo	Tamanho da UA (m^2)			
		M25	M50	M75	M100
2,0 x 2,0	Sem desbaste	100	200,0	300,0	400
2,5 x 2,5		156,3	312,5	468,8	625,0
3,0 x 3,0		225,0	450,0	675,0	900,0
2,0 x 2,0	Desbaste	96,0	192,0	288,0	384,0
2,5 x 2,5	na 3 ^a ou	150,0	300,0	450,0	600,0
3,0 x 3,0	na 6 ^a linha	216,0	432,0	648,0	864,0
2,0 x 2,0	Desbaste na 7 ^a linha	112,0	224,0	336,0	448,0
2,5 x 2,5		175,0	350,0	525,0	700,0
3,0 x 3,0		252,0	504,0	756,0	1.008,0

B) Cálculo do F e das variáveis: Os cálculos das variáveis agrupadas são feitos da mesma forma utilizada no método de área fixa circular ou retangular (item 5.2.3.3), multiplicando o somatório da variável de interesse obtido em cada unidade amostral (g, n e v) pelo valor de F descrito nas seguintes fórmulas:

A) Número de árvores

$$N \text{ ha}^{-1} = n \cdot F$$

Em que: $N \text{ ha}^{-1}$ é o número de árvores por hectare; n é o nº de árvores dentro da UA.

B) Área basal

$$G \text{ ha}^{-1} = \left(\sum_{i=1}^n g_i \right) \cdot F$$

Em que: $G \text{ ha}^{-1}$ é área basal por hectare (m^2/ha); $\sum g_i$ é somatório de g de todas as árvores da UA.

C) Volume

$$V \text{ ha}^{-1} = \left(\sum_{i=1}^n v_i \right) \cdot F$$

Em que: $V \text{ ha}^{-1}$ é volume total por hectare (m^3/ha); $\sum v_i$ é o somatório de v_i da UA.

$$F = \frac{10000}{A_{\text{cova}} \cdot N_{\text{cova}}} = \frac{1 \text{ hectare}}{A_{\text{UA}}}$$

Em que: F é o fator de área, A_{cova} é a área de cova média da UA e N_{cova} é o número de covas utilizado na UA; A_{UA} é a área da unidade amostral do método M25.

Os cálculos poderão ser obtidos de maneira alternativa utilizando diretamente a multiplicação do número médio de árvores ($N \text{ ha}^{-1}$) pelas variáveis médias da unidade amostral (g e v):

C) Número de árvores por hectare ($N \text{ ha}^{-1}$)

$$N \text{ ha}^{-1} = \frac{10000}{A_{\text{cova}}} \cdot \text{Oc\%}$$

$$\text{Oc\%} = \frac{\text{Ocupações}}{N_{\text{cova}}}$$

Em que: Oc\% é a taxa de ocupação de árvores da unidade amostral; Ocupações é a contagem de fustes da UA; N_{cova} é número de covas observadas; A_{cova} é a área média de cova (na unidade amostral).

D) Área basal por hectare ($\text{m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$)

$$G \text{ ha}^{-1} = N \text{ ha}^{-1} \cdot g_m$$

Em que: $G \text{ ha}^{-1}$ é a área basal ($\text{m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$); $N \text{ ha}^{-1}$ é o número de árvores por hectare; e g_m é a área transversal média da unidade amostral.

E) Volume por hectare ($\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$)

$$V \text{ ha}^{-1} = N \text{ ha}^{-1} \cdot v_m$$

Em que: $V \text{ ha}^{-1}$ é o volume da UA ($\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$); $N \text{ ha}^{-1}$ é o número de árvores por hectare da UA; e v_m é o volume médio individual da UA.

5.2.4 Estimativa dos diâmetros médios

Para o cálculo dos diâmetros médios dos tratamentos, as mesmas fórmulas que Drusczc *et al.* (2010 e 2015) utilizaram em seus estudos de comparação entre métodos de amostragem com área fixa e Bitterlich, realizados em 3 plantios de *Pinus taeda* L., com 9, 10 e 11 anos de idade e sem desbastes.

Área fixa, Prodan e M25

$$d = \frac{\sum_{i=1}^n di}{n}$$

Bitterlich

$$d = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{di}{gi} \right)}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{gi} \right)}$$

Em que: d é o diâmetro médio (em cm); n é a contagem dos indivíduos considerados; di são os diâmetros das árvores da UA (em cm); gi são as áreas transversais das mesmas árvores (em m^2).

Segundo Drusczc *et al.* (2010 e 2015), a fórmula utilizada para Bitterlich foi desenvolvida por Nishizawa (1972). Utilizando-se da mesma formulação genérica dos demais métodos testados, os diâmetros médios advindos da relascopia superestimarão os resultados do censo nas 3 áreas experimentais entre 1 e 1,5 cm.

5.2.5 Ajustes de equações de volume e da altura

Foram ajustadas equações volumétricas a partir de dados de cubagens rigorosas, que foram escolhidas árvores de forma proporcional às distribuições diamétricas obtidos nos censos das áreas. Foram utilizadas nas análises o total de 157 árvores: 106 no experimento 1 (sem desbastes), 28 e 23 árvores cortadas e medidas no EXP2 (um desbaste) e EXP3 (dois desbastes) respectivamente. O baixo número de árvores cubadas nas áreas desbastadas foi uma exigência do proprietário, mesmo foram cubadas entre 1 e 1,4% dos indivíduos destas áreas experimentais.

Também foram ajustadas equações hipsométricas individuais por tratamento, utilizando dados específicos de cada amostragem.

Os ajustes das equações volumétricas e hipsométricas, foram escolhidas com base nos menores erros padrões de estimativas ($S_{xy}\%$), menores coeficientes de variações (CV%), maiores coeficientes de

determinações ajustados ($R^2_{aj.}$), maiores valores de F e análises gráficas do resíduo.

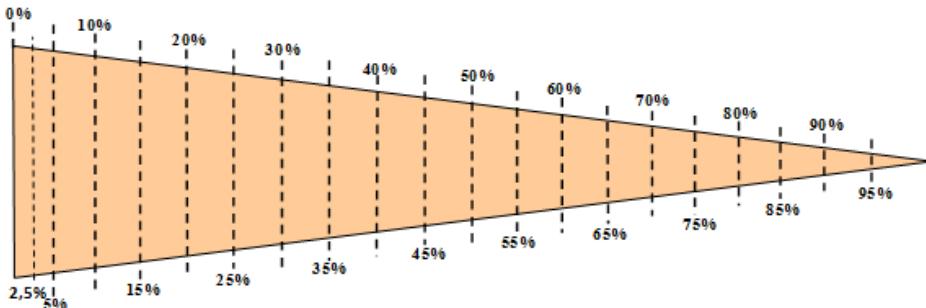
5.2.5.1 Equações volumétricas

As cubagens rigorosas foram realizadas para cada um dos experimentos. Finger (2006) afirmou ser muito importante que se ajuste equações de volumes específicas para cada tipo ecológico (sítios, espécie, idade manejo, etc.). Segundo o autor essa estratificação poderá trazer expressiva redução da variabilidade dos dados aumentando a precisão das estimativas, evitando assim erros de magnitude da equação ou função volumétrica.

Foram ajustadas equações de volumes únicas para cada uma das três áreas de estudo, com a escolha das árvores proporcional a distribuição diamétrica obtida nos censos divididas em classes de "d" de 3 cm.

O método de seleção dos pontos de medições das árvores cubadas foi inspirado em Hohenadl, modificado para 21 seções relativas (com medição a cada 5%, com adicional na secção 2,5%), conforme demonstrado na Figura 18.

Figura 18 Posições relativas utilizadas no método de cubagem de Hohenadl



Fonte: o autor

Foram medidas as circunferências (ci) com casca nas alturas das seções relativizadas (altura total vezes % da seção), porém o cálculo do volume da árvore foi feito utilizando a formulação de Smalian:

$$v = \left(\frac{g_{0\%} + g_{2,5\%}}{l_1} \right) + \left(\frac{g_{2,5\%} + g_{5\%}}{l_2} \right) + \dots + \left(\frac{g_{90\%} + g_{95\%}}{l_{20}} \right) + \left(\frac{g_{95\%} \cdot l_{21}}{3} \right)$$

Em que: $g_{i\%}$ é a área transversal na seção relativa ($h\%$) em m^2 ; e l_i é o comprimento entre seções (m)

Nesta pesquisa foram ajustados 5 modelos para o cálculo do volume total das árvores (Tabela 4).

Tabela 4 Modelos volumétricos testados

Nº	Modelo	Autor
1	$v = \beta_0 + \beta_1 \cdot (d^2 \cdot h) + E_i$	Spurr
2	$v = \beta_0 + \beta_1 \cdot d^2 + E_i$	Kopzky-Gehhardt
3	$\log v = \beta_0 + \beta_1 \cdot \log d + \beta_2 \cdot \log h + E_i$	Schumacher - Hall
4	$\log v = \beta_0 + \beta_1 \cdot \log(d^2 \cdot h) + E_i$	Spurr logaritmizado
5	$\log v = \beta_0 + \beta_1 \cdot \log d + E_i$	Husch

Em que: d é o diâmetro à 1,30m do solo, h é a altura total da árvore, v é o volume da árvore, \log é o logaritmo com base decimal; e β_i são os coeficientes dos modelos e E_i erro aleatório.

5.2.5.2 Equações hipsométricas

Cada desenho amostral teve suas alturas medidas de forma independente (com exceção ao Bitterlich que utilizou as alturas do método de Prodan). Nas análises hipsométricas foram ajustados 6 modelos matemáticos (Tabela 5).

Tabela 5 Modelos hipsométricos testados

Nº	Modelo	Autor
1	$h = \beta_0 + \beta_1 \cdot \left(\frac{1}{d^2}\right) + E_i$	desconhecido
2	$h = \beta_0 + \beta_1 \cdot \log d + E_i$	Henriksen
3	$\log h = \beta_0 + \beta_1 \cdot \log d + E_i$	Stoffels e Van Soest
4	$\log h = \beta_0 + \beta_1 \cdot \left(\frac{1}{d}\right) + E_i$	Curtis
5	$\log h = \beta_0 + \beta_1 \cdot \log\left(\frac{1}{d^2}\right) + E_i$	Assmann
6	$h = \beta_0 + \beta_1 \cdot \left(\frac{1}{d}\right) + E_i$	desconhecido

Em que: d é o diâmetro a 1,30m do solo; h é a altura total da árvore; \log é o logaritmo com base decimal; β_i são os coeficientes dos modelos e E_i erro aleatório.

5.2.6 Análise da distribuição diamétrica

Além das comparações das médias das variáveis dendrométricas volume ($m^3.ha^{-1}$), área basal ($m^2.ha^{-1}$), número de árvores ($N.ha^{-1}$), diâmetro médio (d - cm), é fundamental que uma boa amostragem capture de forma satisfatória, todo espectro da distribuição diamétrica (DD) da população florestal.

Para verificar a aderência das DD obtidas nos censos, com as estimadas nos tratamentos, foi realizado o teste de aderência de KOLMOGOROV-SMIRNOV (Teste KS_{ad}) ao nível de 99% de probabilidade, do conjunto completo de dados amostrado por tratamento.

Primeiramente os "d" foram separados por classes de diâmetro agrupados na unidade $N.ha^{-1}$, o número de classes com intervalo de 3cm foi obtido por meio da formulação de Sturges:

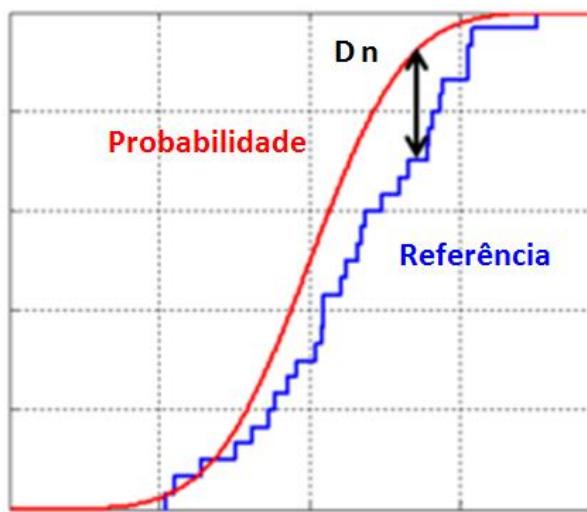
Número de classes	Intervalo de classes
$Nº\ classes = 1 + 3,332 \cdot \log(N)$	$Intervalo = \frac{(Vmax - Vmin)}{Nclasses}$

Em que: ***Nº classes*** é a quantidade de classes contidas na distribuição diamétrica; ***N*** é o número de dados de "d" (censo + tratamentos); ***Vmax*** é o maior valor de "d"; ***Vmin*** é o menor valor de "d".

Para os tratamentos do método de Bitterlich, o número de árvores ($N.ha^{-1}$) de cada classe não foram separados utilizando o conjunto de dados das amostragens, e sim obtidos diretamente das médias das unidades amostrais por classe, conforme metodologia descrita por Machado e Figueiredo Filho (2006).

Para o teste KS_{ad} propriamente dito, primeiramente calculou-se os limites máximos permitido pelo teste KS_{ad} , utilizando os dados da distribuição diamétrica acumulada do censo por experimento, conforme a representação gráfica da Figura 19.

Figura 19 Relação da frequência acumulada de uma amostra e de referência com a máxima distância permitida (Dn)



Fonte: o autor(adaptado)

Em que: **Eixo x** representa a variável estudada; **Eixo y** representa a frequência acumulada; **Dn** é a distância máxima permitida pelo teste KS_{Tad} .

A formulação utilizada para a obtenção das máximas distâncias de cada distribuição permitida (Dn) e testadas pelos tratamentos(Dcalc) foram:

Distância máxima do censo	Distância calculada da amostra	Diferenças
$Dn_{99\%} = \frac{1,63}{\sqrt{N}}$	$Dcalc = \frac{ >\Delta }{N}$	$\Delta = V_{real} - V_{obs}$

Em que: $Dn_{99\%}$ é a distância máxima permitida no teste KS_{Tad} , com probabilidade de 99%; $Dcalc$ é a distância máxima calculada da amostra; N é o número de árvores por hectare obtida no censo (N/ha); $|\Delta|$ é o módulo das maiores diferenças entre os valores reais (V_{real} - censo) e os valores observados (V_{obs} - amostra).

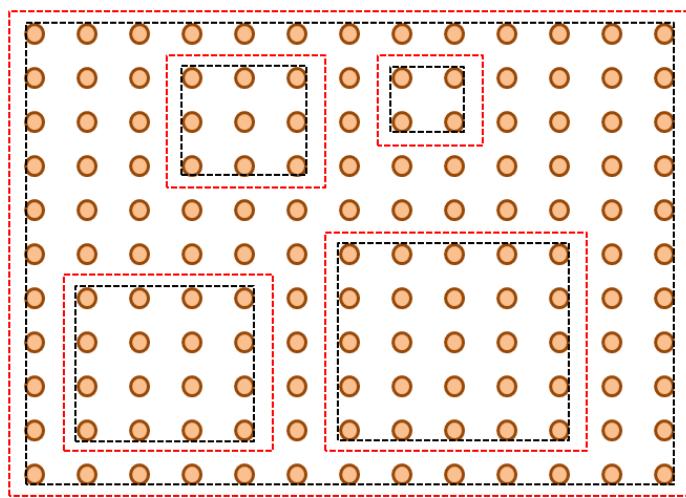
Segundo Machado *et al.* (2009) o teste KS_{ad} é caracterizado pela máxima distância absoluta acumulada observada ($Dn_{99\%}$) e a frequência esperada acumulada calculada nos tratamentos ($Dcalc$), aceitando-se os valores que estiverem abaixo dos limites tabelados ou obtidos por meio de uma distribuição de referência (neste estudo $Dn_{99\%}$). O tratamento que tiver o menor $Dcalc$ é o mais aderente.

5.3 MAPEAMENTO DOS EXPERIMENTOS

A área e o cadastro das informações do EXP1 foram gentilmente cedidos pela Celulose Irani S/A, e foram utilizados sem qualquer ajuste. Já os EXP2 e EXP3 foram mapeados de forma precisa, utilizando uma estação total topográfica digital, com a base de dados cartográfica foi editada utilizando tecnologia GIS, com os mapas de inventário confeccionados pelo o software de geoprocessamento ARCGIS 10.2.

Neste estudo foram considerados os limites dos talhões, um buffer de 1,25 metros além das árvores da bordadura, referente a área de projeção das copas, conforme o esquema apresentado na Figura 20.

Figura 20 Esquema de inclusão de árvores em UA instaladas em plantios florestais com espaçamentos sistemáticos



Fonte: autor

Na Figura 20 exibe duas situações para a definição da área efetiva de plantio florestal:

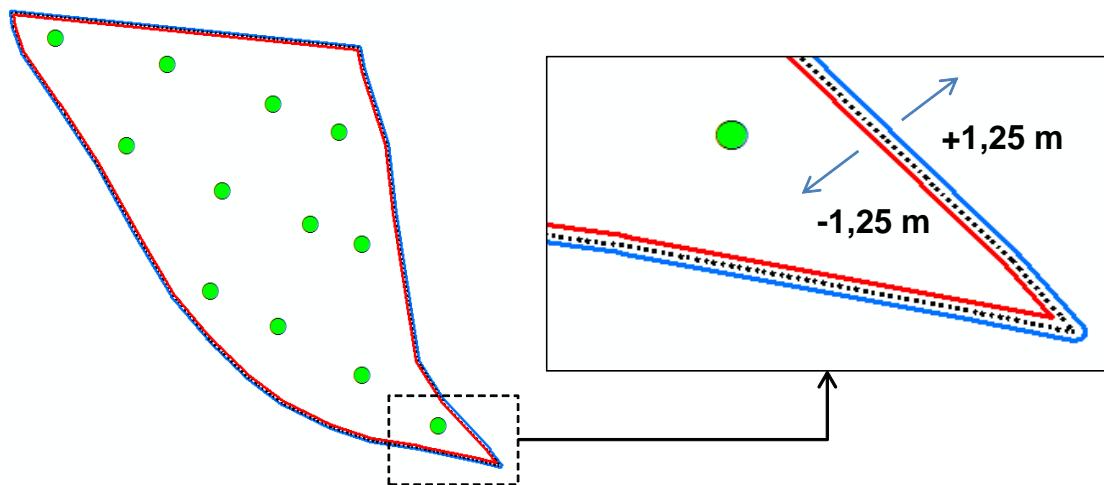
A) Opção I - A linha tracejada preta representa o limite estabelecido pelas árvores de bordadura definindo uma área menor, onde as variáveis por hectare (volume, área basal e número de árvores) são superestimadas;

B) Opção II - A linha tracejada vermelha representa a forma mais correta de representar a área efetiva do talhão, considerando o *buffer* adicional de "meio espaçamento". Esta opção foi utilizada neste trabalho.

Neste estudo foram projetados cenários representando o efeito da alteração da área efetiva de plantio sobre os cálculos dos parâmetros, consequentemente alterando os valores do erro real (Er%) dos tratamentos.

A Figura 21 apresenta o esquema de inclusão ou subtração do *buffer* de 1,25 metros (referente a metade do espaçamento de plantio planejado), no cálculo das áreas. A menor área simulada representa a área tangenciando o lado externo das árvores de bordaduras.

Figura 21 Simulação da variação do tamanho do talhão



Em que: **Linha pontilhada de cor preta** - representa o limite do talhão utilizado no processamento; **Linha inteira de azul** - área com adição de um *buffer* com 1,25 m (área maior); **Linha inteira de vermelha** - subtração de um *buffer* de 1,25 m (área menor).

5.4 DELINEAMENTO ESTATÍSTICOS

Optou-se pela utilização de 3 Delineamentos Inteiramente Casualizado (DIC), onde foram distribuídos 12 pontos amostrais (repetições) de forma sistemática com início aleatório, em cada experimento.

A análise de variância (com significância 95% de probabilidade), foi realizada partindo-se da hipótese que não exista diferença significativa entre os métodos de amostragem para as 4 variáveis dendrométricas principais do inventário florestal: $V.\text{ha}^{-1}$, $G.\text{ha}^{-1}$, $N.\text{ha}^{-1}$ e "d". A distribuição diamétrica acumulada foi avaliada pelo método de aderência de KOLMOGOROV-SMIRNOV (KSad).

A normalidade dos dados foi testada pelo método de KOLMOGOROV-SMIRNOV (ideal em experimentos com muitos tratamentos). O processamento

do teste F para testar a significância, e finalmente os dados foram submetidos ao teste de médias de SCOTT-KNOTT com nível de significância 95%.

Todos os testes estatísticos foram realizados no *Software* estatístico SISVAR e planilha do EXCEL.

5.5 PROCESSAMENTO DOS DADOS E VARIÁVEIS ESTATÍSTICAS

Os processamentos dos inventários florestais foram realizados em planilhas do EXCEL, utilizando-se em todos os tratamentos a técnica de processamento de amostragem aleatório simples em para populações infinitas.

Foram calculadas as estatísticas para as variáveis selecionadas: valores da média, variância, desvio padrão, coeficiente de variação (CV%), erro de amostragem relativo (EA%), e a acurácia (Er%) de cada tratamento.

West (2009) definiu genericamente que a eficácia, ou exatidão, ou erro real, é a diferença entre a mensuração ou uma estimativa da variável, com o seu valor real. Neste trabalho o Er% foi calculado pela seguinte fórmula matemática:

$$Er\% = \frac{(Vest - Vobs)}{Vobs} \cdot 100$$

Em que: **Er%** é o erro real da estimativa (%); **Vobs** é o valor médio obtidos no censo (variáveis N.ha⁻¹, G.ha⁻¹, V.ha⁻¹ e d); e **Vest** é o valor médio estimado pelos tratamentos.

5.6 ESTABELECIMENTO DO RANKING DE TRATAMENTOS

Um *ranking* foi estabelecido com as performances dos tratamentos frente as cinco variáveis estudadas: V.ha⁻¹, G.ha⁻¹, N.ha⁻¹, "d" e distribuição diamétrica (DD), considerando cada uma das variáveis igualmente importante na premiação do tratamento.

Utilizando a acurácia (Er%) como comparador, estipulou-se o valor um (1) ao parâmetro, classificando os tratamentos da menor para a maior diferença com o valor do censo, atribuindo os valores de 2 a 21. Quanto mais distante do parâmetro (valor 1), menos exato são os valores dos tratamentos.

Com o procedimento sendo repetido em cada uma das variáveis, com a obtenção dos somatórios de todos os "posicionamentos", o tratamento mais acurado sendo identificado pelo menor somatório, conforme exemplo da Tabela 6.

Tabela 6 Exemplo de *ranking* de tratamentos por experimento

Tratamento	Ranking das variáveis Dendrométricas						Posição
	V.ha ⁻¹	G.ha ⁻¹	N.ha ⁻¹	d	DD	\sum	
Censo	1	1	1	1	1	5	1
Tratamento "A"	2	3	6	5	9	24	2
Tratamento "B"	3	2	7	12	6	29	3
Tratamento "C"	11	9	3	4	3	29	4
Tratamento "D"	13	8	5	3	5	33	5
...
Tratamento "Z"	20	20	21	17	17	95	21

Obs.: espera-se identificar nas melhores posições, boas performances para todas as variáveis dendrométricas. Tratamento "n" = tratamento hipotético utilizado para exemplificar a metodologia.

6 RESULTADOS

6.1 PARÂMETROS

Os parâmetros das variáveis dendrométricas agrupadas por unidade de área: volume total por hectare ($m^3.ha^{-1}$), área basal por hectare ($m^2.ha^{-1}$) e número de árvores por hectare ($N.ha^{-1}$), bem como a média aritmética do diâmetro e altura, obtidos por meio do censo das áreas dos experimentos estão consolidados na Tabela 7.

Tabela 7 Parâmetros dendrométricos médios para os 3 experimentos

Variáveis	EXP1	EXP2	EXP3
Área (ha)	5,72	2,92	4,16
Idade (anos)	12,2	12,9	17,6
Nº árvores	7.684	2.303	1.975
% vivas	98,5	99,8	99,5
Horas T	52:05:19	16:24:05	14:30:00
$N.ha^{-1}$	1.344	789	475
$G (m^2.ha^{-1})$	52,7	35,8	35,2
$V (m^3.ha^{-1})$	432,6	347,4	399,5
$d (cm)$	21,9	23,8	30,4
$h (m)$	18,2	19,3	23,3

Em que: **Nº árvores** é a quantidade de árvores medidas nos censos; **% vivas** é o percentual de árvores vivas; **HorasT** são as horas trabalhadas nos censos; **$N.ha^{-1}$** é o número de árvores por hectare; **$G (m^2.ha^{-1})$** é a área basal por hectare; **$V (m^3.ha^{-1})$** é o volume total por hectare; **$d (cm)$** é o diâmetro médio em centímetros; e **$h (m)$** é a altura total média em metros.

Obs.: as árvores mortas foram eliminadas das análises deste trabalho.

As Figuras 22 e 23 apresentam respectivamente, os *boxplots* dos diâmetros e a distribuição diamétrica para cada experimento.

Figura 22 Boxplot dos "d" amostrados nos experimentos

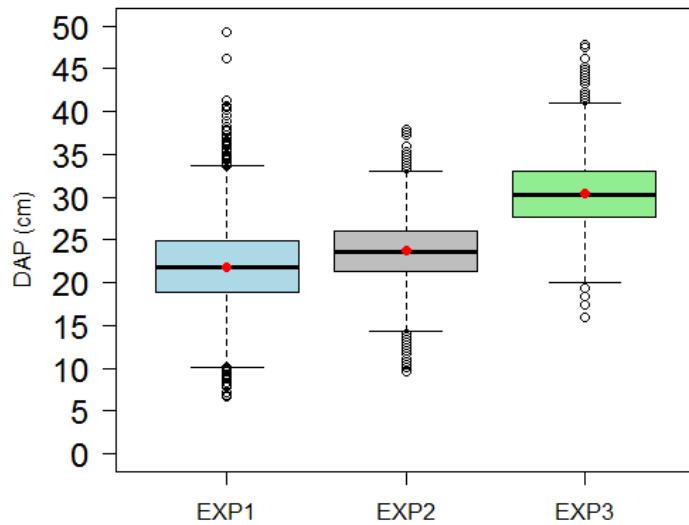
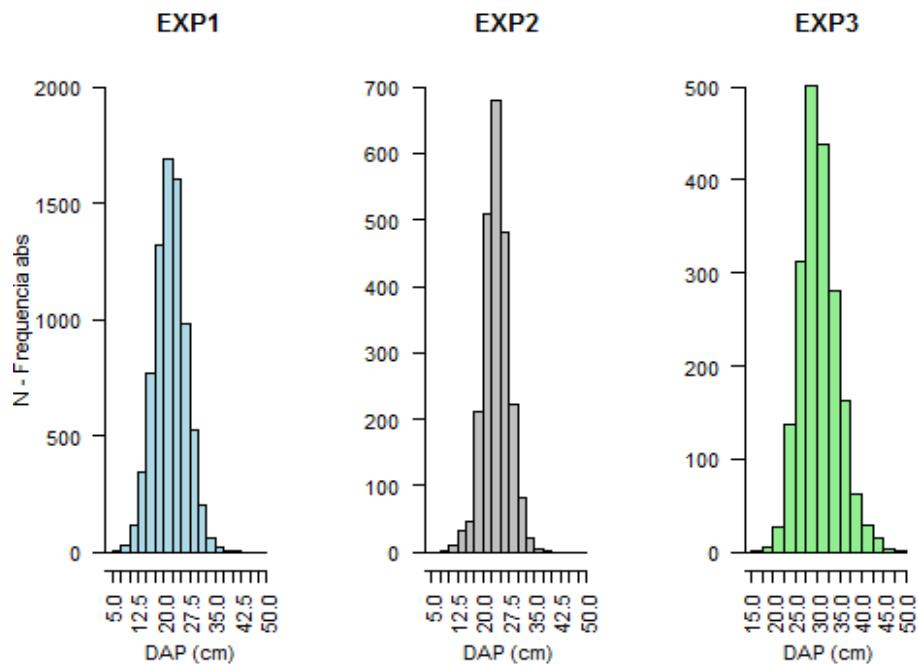


Figura 23 Distribuições diamétricas das áreas experimentais



6.1.1 Modelagem hipsométrica dos experimentos

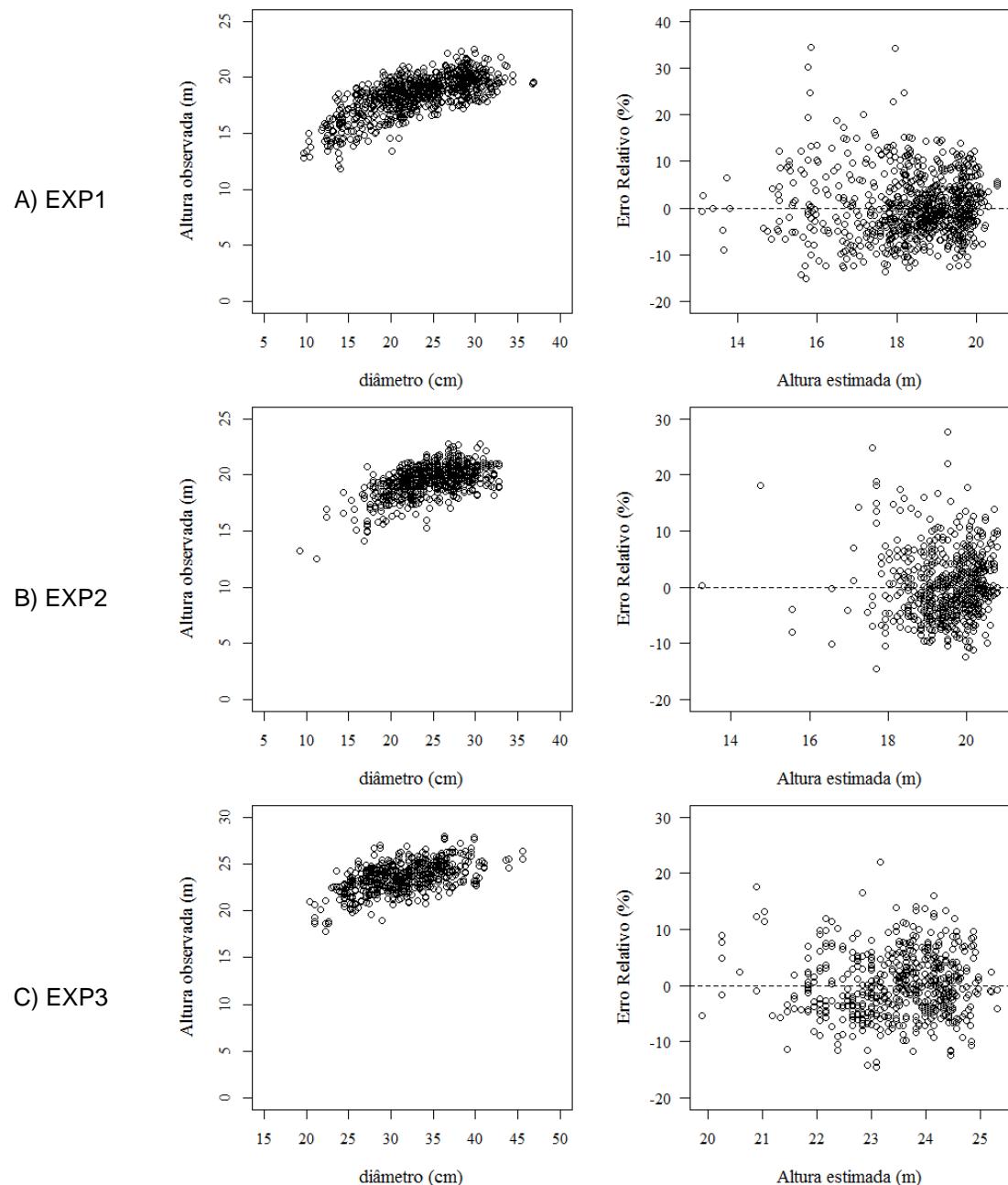
Não foram medidas as alturas das árvores dos censos, apenas aquelas alturas comprometidas: quebradas, ponteiras secas ou com copas danificadas; e para estimar as alturas não medidas, foram utilizadas as medições realizadas na coleta de dados de todos os métodos de amostragem testados. A Tabela 8apresenta as estatísticas das modelagens hipsométricas nas 3 áreas. A Figura 24 apresenta as análises dos resíduos das equações hipsométricas aplicada em cada área.

Tabela 8 Modelos hipsométricos escolhidos para cada experimento

Área	Modelo	β_0	β_1	$R^2_{aj.}$	$S_{xy} (m)$	$S_{xy}\%$
EXP1	4	1,381	-2,532	0,562	1,172	6,351
EXP2		1,395	-2,514	0,393	1,081	5,540
EXP3	5	1,430	-54,356	0,349	1,297	5,514

Em que: Modelo 4: $\log h = \beta_0 + \beta_1 \cdot \log \left(\frac{1}{d}\right)$; Modelo 5: $\log h = \beta_0 + \beta_1 \cdot \left(\frac{1}{d^2}\right)$; β_0 e β_1 coeficiente dos ajustes da regressão.

Figura 24 Análise gráfica da hipsometria dos experimentos



A Tabela 9 apresenta os coeficientes dos modelos hipsométricos utilizados na obtenção das alturas não medidas dos tratamentos.

Tabela 9 Coeficientes hipsométricos selecionados para os tratamentos

Trata mento	Exp1			Exp2			Exp3		
	Modelo	β_0	β_1	Modelo	β_0	β_1	Modelo	β_0	β_1
C600	5	1,326	-28,530	5	1,344	-32,168	5	1,427	-55,599
C400	5	1,326	-28,606	6	24,426	-117,81	5	1,433	-61,653
C200	4	1,401	-3,025	2	5,394	10,199	3	0,975	0,263
R625	4	1,379	-2,408	5	1,335	-24,204	5	1,436	-61,289
R400	4	1,381	-2,409	4	1,388	-2,267	5	1,436	-61,334
R225	4	1,382	-2,420	6	24,647	-114,21	5	1,435	-62,008
M100	4	1,377	-2,525	4	1,400	-2,624	5	1,432	-53,951
M75	4	1,376	-2,511	4	1,403	-2,634	5	1,433	-54,982
M50	4	1,370	-2,397	5	1,338	-22,290	5	1,432	-54,566
M25	5	1,304	-19,533	5	1,336	-21,838	5	1,436	-59,306
Prodan	5	1,313	-20,969	2	6,121	9,773	2	1,059	15,151
Bitterlich	5	1,313	-20,969	2	6,121	9,773	2	1,059	15,151

6.1.2 Modelagem volumétrica dos experimentos

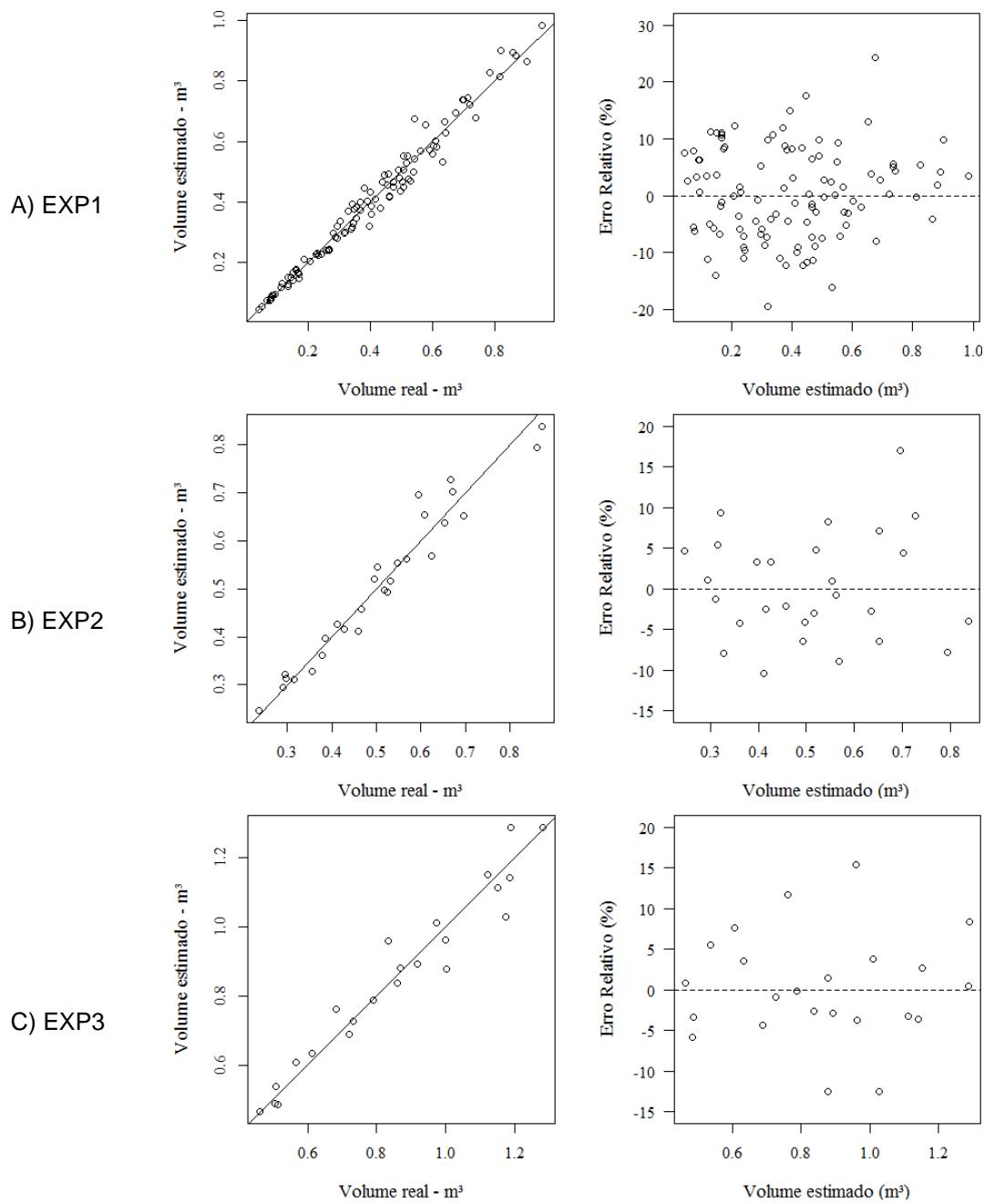
A Tabela 10 apresenta as estatísticas dos ajustes das equações volumétricas, e a Figura 25 mostra as análises gráficas dos resíduos.

Tabela 10 Modelos volumétricos selecionados para cada experimento

Área	Modelo	β_0	β_1	β_2	$R^2_{aj.}$	$S_{xy} (m^3)$	$S_{xy}\%$
EXP1	4 (Spurr Log)	-4,390 ^{1*}	0,982 ^{2*}	-	0,987	0,034	8,607
EXP2	3	-4,894 ^{3*}	1,755 ^{4*}	1,639 ^{5*}	0,965	0,036	6,995
EXP3	(Schumacher)	-4,678 ^{6*}	1,727 ^{7*}	1,484 ^{8*}	0,952	0,065	7,556

Obs.: O Pvalor: ¹1,2862E-104 (B0) e ²1,787E-99 (B1) no EXP1; ³5,71294E-13 (B0) e ⁴2,33738E-13 (B1) e ⁵0,00013445 (B2) no EXP2; ⁶7,35227E-10 (B0), ⁷1,34544E-12 (B1) e ⁸0,000495796 (B2) no EXP3.

Figura 25 Análise gráfica da volumetria dos experimentos



6.2 ESTATÍSTICA EXPERIMENTAL

A normalidade dos dados experimentais foi testada em todas variáveis dendrométricas ($V.ha^{-1}$, $G.ha^{-1}$, $N.ha^{-1}$ e d) pelo método de KOLMOGOROV-SMIRNOV (KS_{nor}) com significância de 95%. Apesar de não ser o método mais poderoso para verificação da normalidade, segundo Miot (2017) ele é adequado para detectar a normalidade para as variáveis testadas.

Conforme apresentado na Tabela 11, apenas a variável $N.ha^{-1}$ dos EXP2 e EXP3 não passaram no teste de Normalidade, mesmo com dados

convertidos (x^2 , \sqrt{x} e $\log(x)$). Devido a natureza da variável dendrométrica e características das áreas desbastadas, outros tipos de distribuições de frequências probabilísticas poderiam ter sido testadas (GAMA, BETA, WEIBULL, entre outras), todavia essa discussão transcenderia o escopo da pesquisa. Neste caso a normalidade foi assumida.

A análise de variância, também mostrada na Tabela 11, não indicou diferenças significativas entre valores obtidas pelos tratamentos (estimativas e parâmetros) para as variáveis por hectares: volume ($V.ha^{-1}$), área basal ($m^2.ha^{-1}$), número de árvores ($N.ha^{-1}$) e da variável individual "d" em todas as áreas experimentais.

Em estudos semelhantes envolvendo métodos de amostragens, Drusczc *et al.* (2010 e 2015) e Drusczc (2014) estudando povoamentos de *Pinus taeda* no estado do Paraná, Santos *et al.* (2016) estudando *Eucalyptus Grandis* no Espírito Santo e Miranda *et al.* (2015) em um plantio de *Tectona grandis* no Mato Grosso, não identificaram diferenças significativas entre os métodos amostrais área fixa e alternativos para as mesmas variáveis dendrométricas também consideradas neste

Tabela 11 Estatística do teste F e de normalidade (KS_{nor}) separado por experimento

DIC	Variável dendrométrica	Média	CV%	Teste F		Teste (KS_{nor})	
				Signif.	p-valor	Signif.	p-valor
EXP1	V ($m^3.ha^{-1}$)	433,5	13,27	NS	0,903	NS	0,108
	Nº árv ($N.ha^{-1}$)	1.360	16,68	NS	0,973	NS	0,089
	G ($m^2.ha^{-1}$)	52,9	12,79	NS	0,945	NS	0,063
	d (cm)	21,9	6,09	NS	0,999	NS	0,809
EXP2	V ($m^3.ha^{-1}$)	348,0	15,55	NS	0,999	NS	0,218
	Nº árv ($N.ha^{-1}$)	795	15,36	NS	0,988	S	0,023
	G ($m^2.ha^{-1}$)	35,5	14,83	NS	0,999	NS	0,195
	d (cm)	23,7	3,36	NS	0,775	NS	0,950
EXP3	V ($m^3.ha^{-1}$)	398,8	22,23	NS	0,999	NS	0,194
	Nº árv ($N.ha^{-1}$)	479	18,97	NS	0,997	S	0,029
	G ($m^2.ha^{-1}$)	35,2	20,44	NS	0,997	NS	0,214
	d (cm)	30,4	6,83	NS	0,999	NS	0,061

Em que: **NS** valor não significativo; e **S** valor significativo ($\alpha \leq 5\%$). Em destaque estão as variáveis e seus que não passaram no teste de significância.

Estudos de amostragens envolvendo métodos de área fixa e variável em florestas nativas, como: Farias *et al.* (2002) em um remanescente de Floresta Atlântica em Lavras - MG, e Moscovich *et al.* (1999) em um fragmento de Floresta Ombrófila Mista em São Francisco de Paula - RS, também não identificaram diferenças significativas entre tratamentos para V, G, N e d.

6.3 INTENSIDADE E SUFICIENCIA AMOSTRAL

A Tabela 12 apresenta os efeitos causados nas estatísticas do erro amostral relativo (EA%) e do coeficiente de variação (CV%), calculados para a variável volume por hectare ($V.ha^{-1}$), alterando com a mudança do método de amostragem, formato e tamanho das UA.

É possível notar que as intensidades amostrais utilizadas nos 3 experimentos não foram suficientes para que todos os tratamentos testados atingissem os erros de amostragem desejados (fixados em $\pm 10\%$). O método de Prodan foi o mais afetado pelo tamanho amostral dos seus tratamentos, em todas as áreas experimentais. Os tratamentos de tamanho reduzido, como: C200, R225, M25, M50 e M75, não alcançaram suficiência amostral no EXP3.

A Tabela 12 também evidencia que com o aumento do tamanho da UA faz diminuir a variabilidade entre as repetições, reduzindo o erro de amostragem estimado (EA%) e o coeficiente de variação (CV%). Este comportamento encontrado por Queiroz (1977), citado por Péllico Netto e Brena (1997), em que o autor testou diferentes tamanho de unidades amostrais de formato retangular em inventário de maçaranduba.

Os gráficos mostram que existem duas formas para se atender a condição de suficiência amostral: aumentando a área da unidade amostral ou intensificando a amostragem. Para os EXP1 e EXP2 as unidades amostrais com tamanhos superiores a 150 m² foram suficientes para a obtenção de amostragens precisas (ou com amostra superior a 1800m² no total), já para o EXP3, com baixa densidade de árvores, as parcelas de tamanhos a partir de 400m² (4800m² no total da amostra) foram as mais precisas, com a grande maioria dos tratamentos apresentando erros amostrais iguais ou inferiores a $\pm 10\%$, considerando os 12 pontos amostrais (repetições) em cada área.

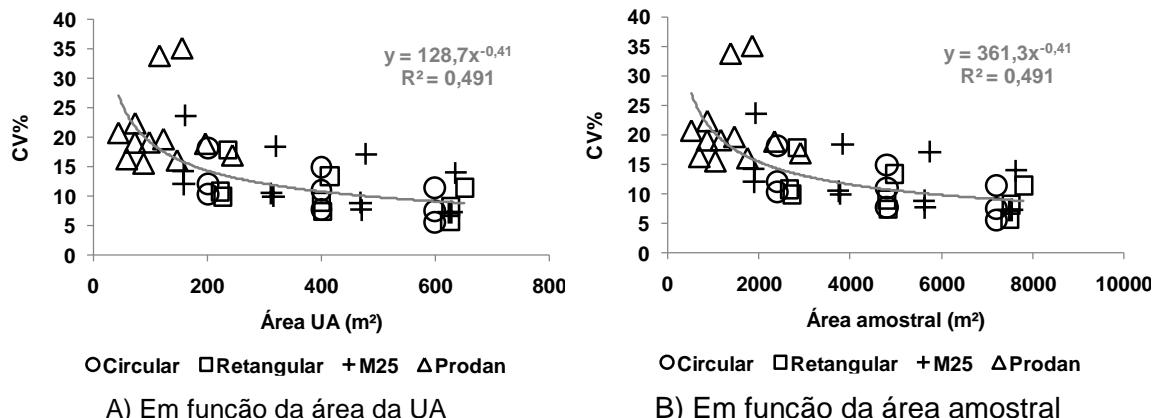
Tabela 12 Tamanho de UA versus variáveis estatísticas para a variável volume por hectare ($V.ha^{-1}$)

Tratamento	EXP1			EXP2			EXP3		
	AUA(m^2)	EA%	CV%	AUA (m^2)	EA%	CV%	AUA (m^2)	EA%	CV%
C200	200,0	6,5	10,2	200,0	7,6	11,9	200,0	11,5	18,1
C400	400,0	4,9	7,7	400,0	6,9	10,9	400,0	9,5	14,9
C600	600,0	3,5	5,5	600,0	4,8	7,5	600,0	7,3	11,4
R225	222,8	6,8	10,8	226,7	6,3	9,9	236,2	11,3	17,7
R400	399,7	5,8	9,1	402,2	4,7	7,4	414,6	8,5	13,3
R625	626,9	5,2	8,1	625,6	3,6	5,7	650,7	7,3	11,4
M25	157,3	7,7	12,1	156,4	9,0	14,2	160,3	15,0	23,7
M50	311,0	6,7	10,5	314,5	6,4	10,0	318,5	11,7	18,5
M75	467,6	5,7	9,0	469,3	4,9	7,7	477,4	10,9	17,2
M100	622,4	4,6	7,3	628,3	4,7	7,4	635,3	8,9	14,0
P6	42,5	13,2	20,8	71,8	14,3	22,4	114,6	21,6	33,9
P8	57,1	10,4	16,3	96,7	12,2	19,2	154,3	22,4	35,3
P10	71,4	12,2	19,2	121,6	12,6	19,8	195,2	12,0	19,0
P12	86,7	9,9	15,6	145,5	10,2	16,1	242,6	10,8	17,0

Em que: **Aua (m^2)** é o tamanho médio da UA de cada tratamento; **CV%** é o coeficiente de variação em percentagem; **EA%** é o erro estimado de amostragem. Os tratamentos que ultrapassaram o limite de erro estipulado (10%) foram **destacados**.

A Figura 26 (A e B) mostra a relação entre o CV% da variável $V.ha^{-1}$, o tamanho das UA, e tamanho total da amostra, separados por tratamentos testados nas 3 áreas experimentais. Os gráficos caracterizam o efeito da máxima curvatura, similar ao apresentado por Queiroz (1977), citado por Péllico Netto e Brena (1997).

Figura 26 Comportamento do coeficiente de variação da variável $V.ha^{-1}$ com o aumento da área da unidade amostral para todos os experimentos



Obs.: Na análise mostrada na Figura 26mostra dois outliers referentes aos tratamentos P6 (CV%=33,9%) e P8 (CV%=35,3%) instalados no EXP3.

Analizando os dados sob o foco da Relascopia o comportamento do erro amostral estimado e do CV%, da variável V.ha⁻¹ , também diminui com o aumento do número de árvores inseridas dentro do ponto de Bitterlich, e diretamente proporcional ao valor do FAB, pois com o aumento deste também resulta em maiores CV% conforme mostrado na Tabela 13.

Tabela 13 FABs versus variáveis estatísticas para a variável volume por hectare (V.ha⁻¹)

Tratamento	EXP1			EXP2			EXP3		
	n/UA	EA%	CV%	n/UA	EA%	CV%	n/UA	EA%	CV%
K1	51,8	4,8	7,6	35,1	7,8	12,3	34,8	5,5	8,6
K1,5	36,4	7,6	12,0	23,3	7,5	11,9	23,8	6,3	9,9
K2	27,0	7,7	12,1	17,7	8,0	12,7	18,2	12,4	19,3
K4	12,7	8,5	13,4	8,8	13,8	21,7	8,8	16,6	23,0
K6	9,3	10,1	15,9	5,6	13,2	20,8	5,5	19,8	32,1
K10	5,5	13,9	22,0	3,1	23,0	35,8	3,4	23,6	44,6

Em que: Valores **destacados** indicam os FABs com insuficiência amostral; **n/UA** é o número médio de árvores dentro da UA de Bitterlich; **CV%** é o coeficiente de variação em percentagem.

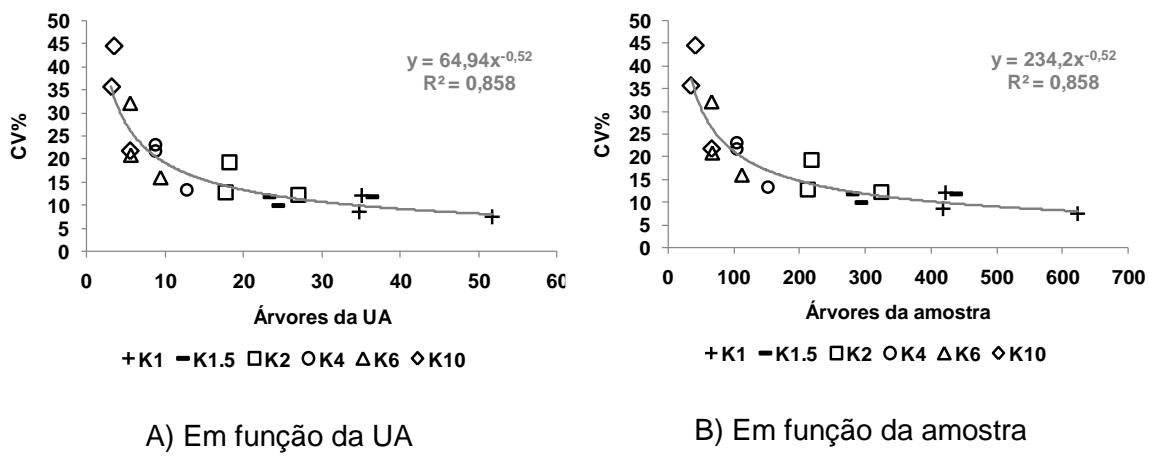
Farias *et al.* (2002) testaram o método de Bitterlich com diferentes FAB (1, 2 e 4) e o método de área fixa circular (500 m²) em amostragens para analisar a estrutura de um fragmento de floresta Atlântica em Minas Gerais, sendo verificado o mesmo comportamento inverso entre FAB e CV%. Os autores também mostraram que com 13 unidades amostrais, apenas o método de área fixa atendeu a suficiência amostral (EA% ≤ 20). Também identificaram que o método de Bitterlich exigem um número maior de UA para atender a precisão desejada, reduzindo a necessidade quanto mais próximo de 1 for o FAB.

Fiorentin *et al.* (2016) trabalharam com o método de Bitterlich com múltiplos fatores de áreas basais num remanescente de floresta de araucária no Sul do Brasil, e identificaram que a escolha do FAB influencia diretamente na precisão dos dados. Os autores afirmaram que os dados também ficam mais consistentes utilizando FABs menores, indicando fatores ideais menores

ou iguais a 1. Mesmo em plantios florestais, como as utilizadas neste trabalho, estas mesmas tendências também foram identificadas.

A Figura 27 (A e B) mostra duas formas para se atender a condição de suficiência amostral: 1^a opção é diminuindo o valor do FAB; a 2^a é intensificando a amostragem. Os gráficos indicam que com 10 árvores ou mais dentro de cada ponto de Bitterlich (ou ≥ 120 árvores no total da amostra), foi possível realizar uma amostragem precisa, com precisão pré-estabelecida em $\pm 10\%$.

Figura 27 Comportamento do coeficiente de variação da variável $V.ha^{-1}$ no método de Bitterlich em diferentes FABs



Obs.: O número ótimo de árvores contadas no ponto de Bitterlich segundo a literatura fica entre 20 e 30 indivíduos, com CV% entre 10 e 15%, seguramente indicando suficiência amostral adequada (EA% $\leq 10\%$).

Segundo Finger (2006) o levantamento efetuado com o FAB igual a 1, em termos de quantidade de dados, é duas vezes maior que o realizado com o FAB igual a 2 e, aproximadamente, quatro vezes maior que o efetuado com o FAB igual 4, efeito também evidenciado nesta pesquisa. O autor ainda afirmou que com relação a precisão dos resultados, é preferível realizar duas UA utilizando o FAB=2, do que uma UA com FAB=1, e seguindo o mesmo raciocínio, melhores resultados poderão ser obtidos com quatro UA com a FAB=4, e assim por diante.

Em resumo os métodos de área fixa circular, retangular e M25 tiveram estatísticas similares (EA% e CV%), e em termos de precisão, levaram ampla vantagens sobre os métodos alternativos de Prodan e Bitterlich em todas as

situações de manejo, considerando 12 pontos amostrais (repetições) instalados em cada experimento.

6.4 ANÁLISE DAS VARIÁVEIS DENDROMÉTRICAS

De maneira geral os resultados estimados pelos tratamentos para as variáveis volume, área basal, número de árvores e diâmetro médio apresentam pouca variação entre si, bastante próximos dos parâmetros, confirmando as afirmações de Husch *et al.* (1982), e corroborados pelos pesquisadores Druscz (2014), Kohler (2017) e Serpe (2017), de que é possível se obter estimativas precisas e exatas dos atributos florestais utilizando diferentes formas de amostragem, respeitando certos limites impostos pelas características das florestas inventariadas.

Em termos de acuracidade, a grande maioria dos tratamentos apresentaram erros reais (Er%) bem abaixo do limite de erro de amostragem calculado (EA%). Superestimativas do erro de amostragem, também foram detectadas nas pesquisas de Kohler (2017), Farias *et al.* (2020) e Miranda *et al.* (2022), em testagem de inventários florestais em plantios comerciais de *Pinus taeda*.

Já em termos de precisão, os EA% foram influenciados pelos tamanhos amostrais de cada tratamento. No geral, os erros de amostragem são maiores quanto menores forem os tamanhos das unidades amostrais, e tendem a aumentar com as intervenções de desbastes independentemente o método utilizado.

A distribuição diamétrica foi a única variável com diferenças estatísticas entre tratamentos. Metade dos tratamentos não passaram no teste de KSad no EXP1 e EXP2. Já no EXP3 apenas 3 tratamentos não foram aderentes, mostrando mais homogeneidade dos "d" nessa área duas vezes desbastadas.

6.4.1 Estimativas para o volume por hectare (V.ha⁻¹)

Observando a Tabela 14, nota-se que os valores estimados pelos tratamentos tiveram pouca variação entre si, com os valores dos erros reais (Er%) raramente ultrapassando $\pm 5\%$. As exceções foram: no EXP1 o tratamento K6 (+6,33%); no EXP2 os tratamentos K6 (-5,52%), M50 (+5,48%) e

K10 (-5,0%); no EXP3 os tratamentos R225 (+9,47%), P8 (-5,79%), K1.5 (-5,29%) e K6 (+5,28%).

Considerando os 3 experimentos, os métodos tradicionais de inventários que utilizam UA de tamanhos fixos circular e retangular estimaram a variável volume com mais consistência. Em especial a de formato circular, que obteve as menores diferenças com relação aos censos, entre -1,8% e +1,2%.

Tabela 14 Resultados da sumarização pelo teste de Scott-Knott variável V.ha⁻¹, erro de amostragem relativo e erro real da estimativa.

Tratamento	EXP 1			EXP2			EXP3		
	V.ha ⁻¹	EA%	Er%	V.ha ⁻¹	EA%	Er%	V.ha ⁻¹	EA%	Er%
Censo	432,6a			347,4a			399,5a		
C200	425,1a	6,51	-1,74	350,6a	7,57	0,92	406,7a	11,49	-1,82
C400	437,6a	4,92	1,16	345,0a	6,94	-0,68	396,7a	9,49	0,68
C600	434,7a	3,50	0,48	351,5a	4,79	1,19	395,8a	7,25	0,91
R225	430,7a	6,84	-0,44	352,7a	6,27	1,52	361,6a	11,27	9,47
R400	424,2a	5,75	-1,95	350,8a	4,69	0,99	389,7a	8,47	2,43
R625	423,9a	5,17	-2,03	349,0a	3,63	0,48	384,8a	7,27	3,67
M25	413,5a	7,71	-4,43	356,6a	9,03	2,66	398,8a	15,04	0,17
M50	419,4a	6,69	-3,05	366,4a	6,36	5,48	401,6a	11,74	-0,54
M75	418,9a	5,69	-3,17	357,6a	4,90	2,93	400,1a	10,90	-0,16
M100	421,2a	4,63	-2,65	346,9a	4,68	-0,13	397,9a	8,89	0,38
P6	446,6a	13,22	3,24	347,9a	14,26	0,14	411,1a	21,57	-2,90
P8	444,5a	10,39	2,74	345,9a	12,20	-0,43	422,6a	22,40	-5,79
P10	441,7a	12,18	2,10	349,7a	12,55	0,65	408,4a	12,05	-2,23
P12	439,5a	9,91	1,60	353,8a	10,24	1,86	395,7a	10,79	0,95
K1	427,0a	4,81	-1,29	344,2a	7,79	-0,92	398,1a	5,48	0,35
K1.5	449,8a	7,61	3,97	343,2a	7,53	-1,20	420,6a	6,29	-5,29
K2	444,1a	7,69	2,66	346,5a	8,04	-0,26	415,9a	12,35	-4,11
K4	416,0a	8,54	-3,84	342,8a	13,79	-1,32	400,5a	16,56	-0,27
K6	460,0a	10,11	6,33	328,2a	13,22	-5,52	378,4a	19,84	5,28
K10	450,8a	13,95	4,21	330,0a	23,03	-5,00	391,2a	23,57	2,06

Em que: V.ha⁻¹ é o volume por hectare (m³.ha⁻¹); EA% é o erro de amostragem relativo; Er% é o erro real comparado com o censo; Letras a é a representação do teste de média de SCOTT-KNOTT. Os melhores tratamentos foram **destacados**.

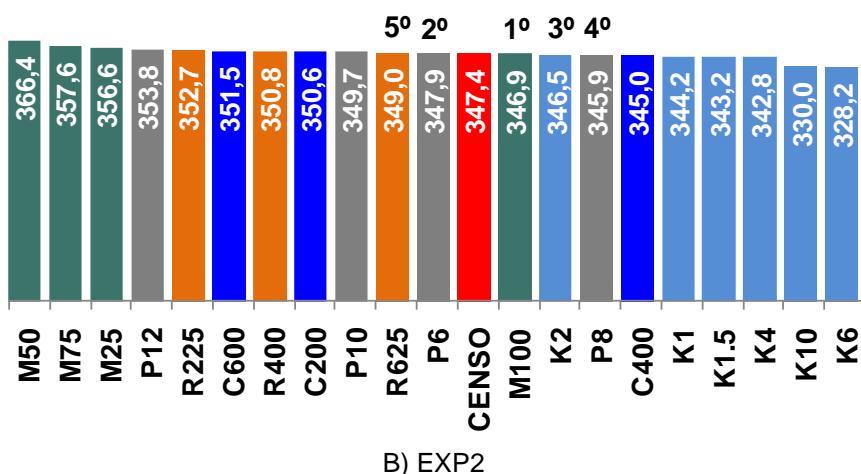
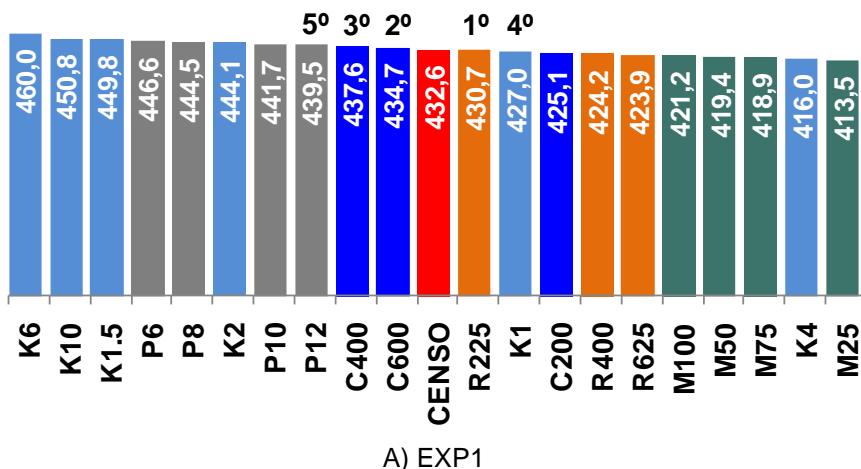
Os destaques do EXP1 foram os tratamentos R225 (-0,44%), C600 (+0,48%) e C400 (+1,16%), K1 (-1,29%) e P12 (+1,60%). Mostrando ligeira vantagem em favor dos métodos tradicionais.

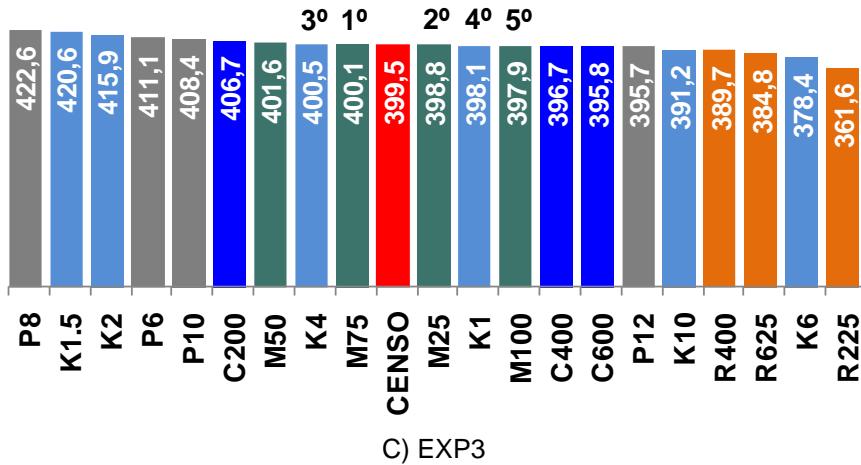
O EXP2 mostrou bastante equilíbrio de performances entre os 5 métodos, também com poucas diferenças entre tratamentos. Os destaques foram: M100 (-0,13%), P6 (+0,14%), K2 (+0,26%), P8 (-0,43%) e R625 (+0,48%).

No EXP3 os métodos mais consistentes foram o M25 e Bitterlich, com os seguintes destaques: M75 (-0,16%), M25 (+0,17%), K4 (-0,27%), K1 (+0,35%) e M100 (+0,38%).

A Figura 28 apresenta os volumes dos tratamentos ordenados do maior para o menor valor, destacando o valor do censo e o posicionamento dos valores mais próximos (com os menores Er%).

Figura 28 Resultados de $V.\text{ha}^{-1}$ ordenados dos três experimentos





É possível notar que nos três casos a posição central dos gráficos é ocupada pelo valor do censo (destacado em vermelho), à direita corresponde aos tratamentos com valores subestimados, à esquerda os superestimados.

No EXP1 (sem manejo) os métodos de amostragens de Prodan e Bitterlich superestimam dos valores do censo, já os tratamentos do método M25 subestimaram os resultados, e os tratamentos de áreas fixas circulares e retangulares com os mais próximos do valor paramétrico.

No EXP2 (um desbaste) o método de Bitterlich tendeu a subestimar os resultados do censo, sendo que as demais metodologias superestimaram os resultados do volume do censo, principalmente com o método M25.

Já no EXP3, com dois desbastes e com linhas de corte sistemáticas variando entre a 10^a e 13^a linhas, o método de área fixa retangular foi menos acurado de todos. O método M25 representou muito bem o esquema de manejo desta área, que junto com Bitterlich foram os mais acurados.

6.4.2 Estimativas para a área basal por hectare (G.ha⁻¹)

A Tabela 15 mostra que no geral, considerando todas as áreas, os métodos tradicionais também foram mais consistentes para a área basal. Em especial o método de área fixa circular, com os Er% estimados abaixo de $\pm 2\%$ na maioria dos seus tratamentos. O método M25, o segundo mais consistente, também estimou bem o G.ha⁻¹ em todas as condições de manejo.

Mesmo configurando com poucos destaques, a maioria dos tratamentos dos métodos alternativos também estimaram a área basal com erros reais abaixo de $\pm 5\%$. As exceções foram: no EXP1 com o tratamento K6 (+6,28%);

no EXP2 com K6 (-6,55%) e K10 (-6,17%); no EXP3 com R225 (-8,35%), P8 (+5,84%) e K6 (-6,32%).

Tabela 15 Resultados da sumarização pelo teste de Scott-Knott variável G.ha⁻¹, erro de amostragem relativo e erro real da estimativa.

Tratamento	EXP 1			EXP2			EXP3		
	G.ha ⁻¹	EA%	Er%	G.ha ⁻¹	EA%	Er%	G.ha ⁻¹	EA%	Er%
Censo	52,7a			36,0a			35,2a		
C200	52,0a	5,92	-1,26	36,2a	7,09	0,93	36,6a	10,71	3,92
C400	53,4a	4,63	1,41	35,6a	6,69	-0,80	35,7a	8,56	1,28
C600	53,1a	3,06	0,80	36,6a	4,46	2,01	35,5a	6,37	0,86
R225	52,1a	5,97	-1,11	35,3a	5,81	-1,52	32,3a	9,61	-8,35
R400	51,3a	5,16	-2,56	35,7a	3,92	-0,44	34,7a	7,16	-1,54
R625	51,5a	4,63	-2,34	35,7a	3,32	-0,32	34,1a	5,61	-3,08
M25	51,1a	7,32	-3,05	35,9a	9,15	0,03	34,9a	13,30	-0,84
M50	51,9a	6,30	-1,58	37,0a	6,21	3,09	35,1a	10,34	-0,28
M75	51,6a	5,16	-2,07	36,5a	4,39	1,71	35,1a	8,88	-0,45
M100	51,9a	4,05	-1,59	35,7a	4,23	-0,27	34,8a	7,29	-1,16
P6	54,0a	12,35	2,48	35,3a	12,11	-1,57	36,4a	18,82	3,44
P8	54,0a	9,68	2,43	35,2a	10,95	-1,83	37,3a	20,14	5,84
P10	53,9a	11,94	2,28	35,6a	11,54	-0,74	36,1a	10,80	2,52
P12	53,5a	9,44	1,62	36,0a	9,01	0,46	34,9a	9,41	-0,87
K1	51,8a	4,73	-1,62	35,1a	7,74	-2,13	34,7a	5,26	-1,58
K1.5	54,6a	7,53	3,67	35,0a	7,46	-2,36	36,6a	5,92	3,98
K2	54,0a	7,77	2,49	35,3a	8,02	-1,43	36,3a	12,19	3,15
K4	50,7a	8,38	-3,84	35,0a	13,89	-2,36	35,0a	14,23	-0,64
K6	56,0a	10,19	6,28	33,5a	13,25	-6,55	33,0a	20,01	-6,32
K10	55,0a	14,36	4,39	33,6a	22,78	-6,17	34,2a	27,99	-3,00

Em que: **G.ha⁻¹** é a área basal por hectare (m².ha⁻¹); **EA%** é o erro de amostragem relativo; **Er%** é o erro real comparado com o censo; Letras **a** é a representação do teste de SCOTT-KNOTT. Os melhores tratamentos foram **destacados**.

Os destaques do EXP1 foram os tratamentos C600 (0,80%), R225 (-1,11%), C200 (-1,26%), C400 (+1,41%) e M50 (-1,58%), indicando uma certa vantagem entre os métodos tradicionais de inventário aos modelos alternativos.

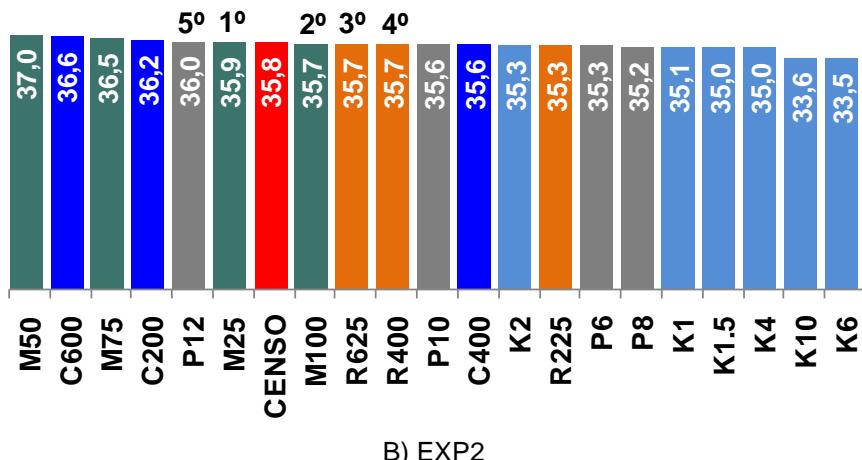
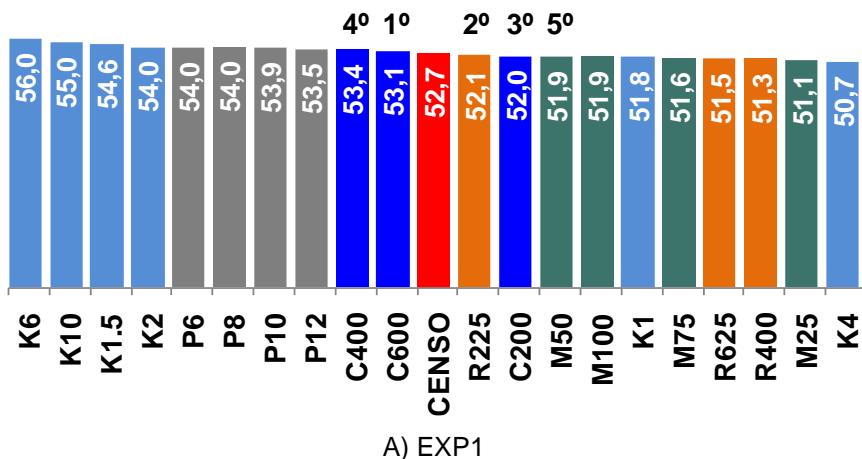
O EXP2, apresentou bastante equilíbrio de performances entre os métodos testados, com destaque para os tratamentos: M25 (+0,03%), M100 (-0,27%), R625 (-0,32%), R400 (-0,44%) e P12 (+0,46%).

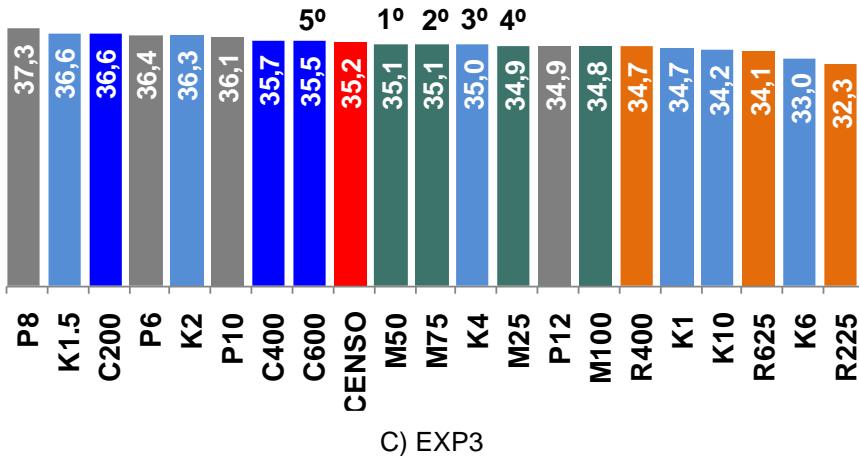
Já no EXP3 o método mais consistente foi o M25, com Bitterlich e área fixa circular completando o quadro dos destaques: M50 (-0,28%), M75 (-0,45%), K4 (-0,64%), M25 (-0,84%) e C600 (+0,87%).

A Figura 30 apresenta as estimativas da área basal dos tratamentos ordenadas do maior para o menor valor, destacando o censo e os valores mais próximos (menores Er%).

É possível observar na Figura 29 que existe a tendência dos métodos de área variáveis de Prodan e Bitterlich superestimarem $G.ha^{-1}$ no EXP1, assim como na variável volume, com M25 e área fixa retangular subestimando os valores do censo.

Figura 29 Resultados de $G.ha^{-1}$ ordenados dos três experimentos





No EXP2 os métodos alternativos de Bitterlich e Prodan mostram tendências de subestimar os valores de $G.ha^{-1}$ do censo. Já no EXP3, com desbastes sistemáticos, deixaram o método de área fixa retangular o menos exato que os demais, no entanto o método M25 conseguiu representar o esquema de manejo desta área, assim como verificado para a variável volume.

6.4.3 Estimativas para o número de árvores por hectare ($N.ha^{-1}$)

De maneira geral os erros reais ficaram abaixo de $\pm 5\%$, com as seguintes exceções: no EXP1 os tratamentos K6 (+9,14%) e K10 (+9,86%); no EXP2 o tratamento K10 (-7,05%); e no EXP3 os tratamentos K1,5 (5,00%), C200 (+5,10%), P8 (+5,69%) e K6 (-8,19%).

A Tabela 16 apresenta que no geral os métodos de áreas fixas circulares e retangulares são os mais adequados para se estimar o número de árvores ($N.ha^{-1}$), computando os menores Er%. O método M25 também se destacou na estimativa desta variável dendrométrica no EXP1, e principalmente no EXP3.

Analizando separadamente cada experimento, é possível notar que no EXP1, os métodos de área fixa circulares e retangulares, e M25 foram os mais acurados, com performances bem semelhantes. Os destaques foram tratamentos: M100 (-0,14%), C400 (-0,17%), R625 (-0,20%), M50 (-0,23%) e R225 (-0,43%).

Assim como vistos nas duas primeiras variáveis dendrométricas agrupadas por unidade de área, todos os métodos foram consistentes para estimar o número de árvores no EXP2, destacando-se: K4 (-0,04%), C400 (+0,61%), P6 (+0,80%), R625 (+1,16%) e M100 (+1,28%).

No EXP3 os métodos mais consistentes foram o M25 e AFR, com os menores intervalos de Er%. Os tratamentos mais exatos foram M25 (-0,09%), K4 (-0,11%), M100 (+0,22%), R400 (+0,29%) e P12 (+0,96%).

Tabela 16 Resultados da sumarização pelo teste de Scott-Knott variável N.ha⁻¹, erro de amostragem relativo e erro real da estimativa

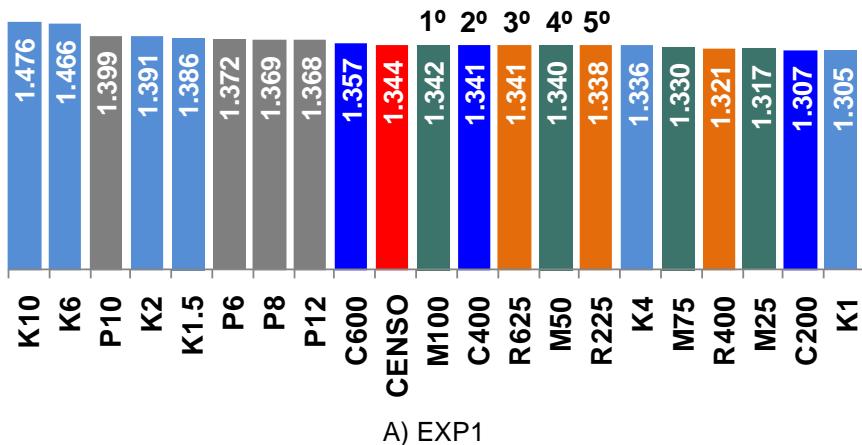
Tratamento	EXP 1			EXP2			EXP3		
	N.ha ⁻¹	EA%	Er%	N.ha ⁻¹	EA%	Er%	N.ha ⁻¹	EA%	Er%
Censo	1344a			789a			475a		
C200	1307a	5,82	-2,71	817a	7,66	3,52	499a	13,13	5,10
C400	1341a	6,94	-0,17	794a	6,73	0,61	487a	9,82	2,50
C600	1357a	6,12	0,97	815a	4,72	3,34	480a	6,32	1,08
R225	1338a	7,51	-0,43	805a	5,46	2,09	470a	10,06	-1,01
R400	1321a	8,11	-1,68	800a	3,45	1,39	477a	9,30	0,29
R625	1341a	6,50	-0,20	798a	2,80	1,16	468a	6,18	-1,52
M25	1317a	7,11	-2,00	826a	8,82	4,64	475a	11,27	-0,09
M50	1340a	8,61	-0,23	826a	4,65	4,70	485a	9,96	1,98
M75	1330a	6,90	-1,02	817a	3,07	3,56	484a	7,21	1,85
M100	1342a	5,82	-0,14	799a	3,32	1,28	476a	6,27	0,22
P6	1372a	13,00	2,12	795a	12,37	0,80	490a	13,72	3,09
P8	1369a	9,47	1,87	800a	12,03	1,46	502a	15,26	5,69
P10	1399a	13,03	4,14	803a	11,15	1,80	495a	11,26	4,25
P12	1368a	10,42	1,85	806a	8,90	2,21	480a	10,07	0,96
K1	1305a	8,17	-2,84	772a	7,51	-2,18	466a	7,86	-1,86
K1.5	1386a	10,21	3,14	777a	7,53	-1,49	499a	10,20	5,00
K2	1391a	12,19	3,51	778a	8,05	-1,35	492a	13,85	3,48
K4	1336a	13,25	-0,59	789a	16,29	-0,04	475a	13,12	-0,11
K6	1466a	13,58	9,14	750a	14,86	-4,88	436a	17,05	-8,19
K10	1476a	20,88	9,86	733a	24,21	-7,05	460a	24,98	-3,26

Em que: **N.ha⁻¹** é o número de árvores por hectare; **EA%** é o erro de amostragem relativo; **Er%** é o erro real comparado com o censo; Letras **a** é a representação do teste de média de SCOTT-KNOTT. Os melhores tratamentos foram **destacados**.

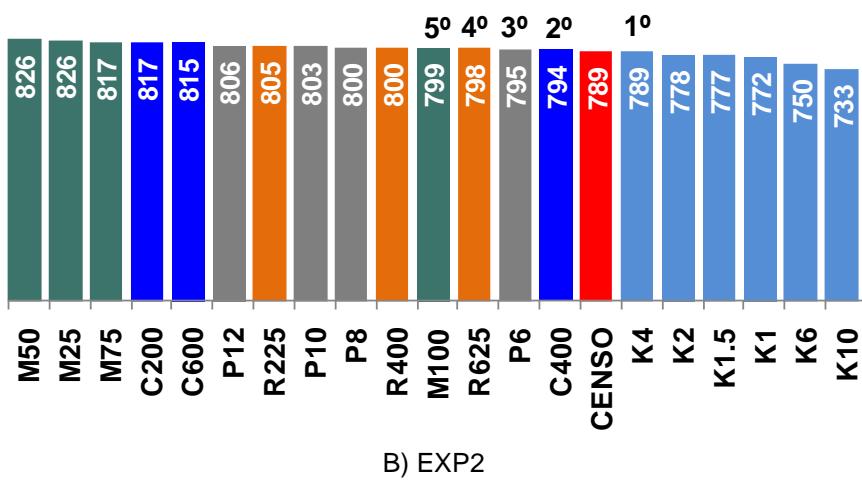
A Figura 30 apresenta os números de árvores dos tratamentos ordenadas do maior para o menor valor, destacando o censo e os valores mais próximos (menores Er%). Nota-se tendências de que os métodos alternativos de Bitterlich e Prodan superestimam o número de árvores no EXP1 (assim como visto com as variáveis volume e área basal). No EXP2, quase todos os

tratamentos superestimaram a variável número de árvores, com exceção aos do método de Bitterlich. Já no EXP3 os tratamentos do método de Prodan e de área fixa circular foram os que mais superestimaram o número de árvores assim como visto também na área basal, com Bitterlich tendendo a subestimar os valores da variável.

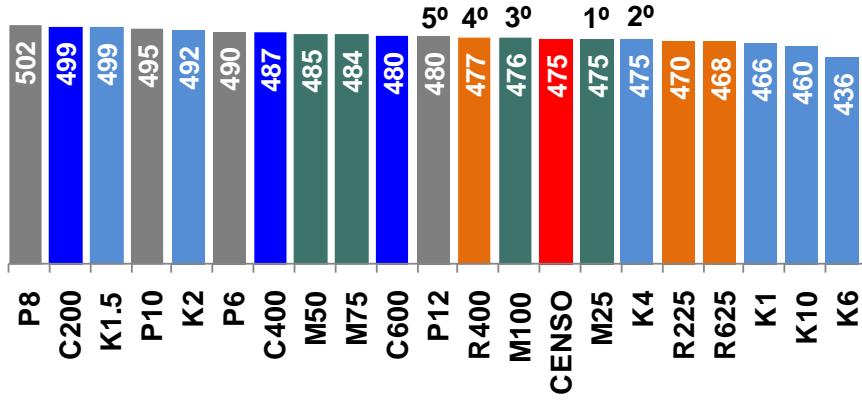
Figura 30 Resultados de N.ha⁻¹ ordenados dos três experimentos



A) EXP1



B) EXP2



C) EXP3

6.4.4 Estimativas para diâmetro médio

O "d" é a variável individual mais importante, e mais fácil de ser medida em um inventário florestal. A Tabela 17 mostra que a grande maioria dos tratamentos estimaram Er% abaixo de $\pm 2\%$ do valor do censo (exceções a K10 = +2,31% e M25 = -2,10%, no EXP2).

Tabela 17 Resultados da summarização pelo teste de Scott-Knott variável "d", erro de amostragem relativo e erro real da estimativa.

Tratamento	EXP 1			EXP2			EXP3		
	d	EA%	Er%	d	EA%	Er%	d	EA%	Er%
Censo	21,9a			23,8a			30,4a		
C200	22,2a	3,55	1,26	23,6a	1,44	-0,79	30,5a	4,23	0,13
C400	22,2a	3,28	1,61	23,7a	1,37	-0,33	30,4a	4,00	0,02
C600	22,0a	3,18	0,63	23,7a	1,73	-0,32	30,5a	3,78	0,31
R225	21,9a	2,79	0,28	23,4a	1,92	-1,64	30,3a	4,66	-0,50
R400	22,0a	3,28	0,35	23,6a	1,75	-0,65	30,3a	3,93	-0,39
R625	21,8a	3,26	-0,50	23,7a	1,69	-0,43	30,3a	4,02	-0,34
M25	21,8a	2,16	-0,33	23,3a	2,40	-2,10	30,4a	5,17	-0,16
M50	21,9a	3,25	-0,11	23,6a	2,45	-0,54	30,2a	4,56	-0,73
M75	21,9a	3,24	-0,02	23,6a	2,06	-0,67	30,2a	4,30	-0,84
M100	21,8a	3,05	-0,19	23,6a	1,75	-0,48	30,3a	4,09	-0,36
P6	22,0a	5,40	0,61	23,6a	3,28	-0,63	30,5a	4,62	0,11
P8	22,1a	3,54	0,87	23,5a	2,06	-1,16	30,4a	4,12	0,00
P10	21,8a	4,06	-0,46	23,6a	1,65	-0,53	30,3a	4,40	-0,31
P12	22,0a	3,90	0,45	23,6a	1,33	-0,49	30,4a	4,36	-0,14
K1	22,2a	3,76	1,47	23,8a	1,78	0,31	30,7a	3,29	0,80
K1.5	22,1a	4,18	1,07	23,7a	2,23	-0,14	30,6a	3,88	0,49
K2	22,0a	4,66	0,58	23,9a	1,39	0,54	30,6a	3,79	0,45
K4	21,8a	5,76	-0,53	23,7a	1,79	-0,21	30,5a	4,31	0,31
K6	21,8a	4,19	-0,16	23,8a	2,83	0,09	30,9a	5,07	1,53
K10	21,7a	4,92	-0,79	24,3a	4,10	2,31	30,6a	5,54	0,71

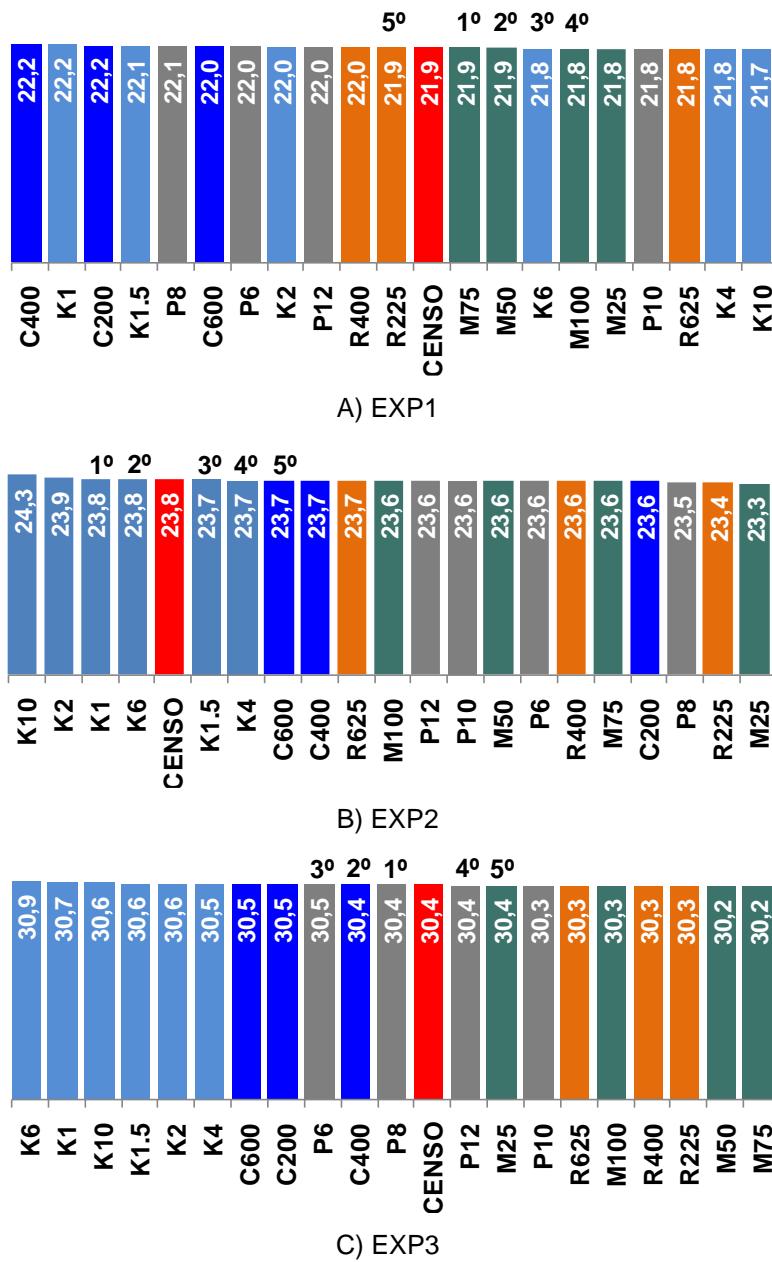
Em que: **d** é o diâmetro médio à altura do peito (cm); **EA%** é o erro de amostragem relativo; **Er%** é o erro real comparado com o censo; Letras **a** e **b** representam as diferenças entre tratamentos do teste de média SCOTT-KNOTT; Os melhores tratamentos foram **destacados**.

No EXP1, o método M25 foi o mais acurado, que junto com o método de Bitterlich e área fixa retangular ocuparam todas as posições de destaque: M75 (-0,02%), M50 (-0,11%), K6 (-0,16%), M100 (-0,19%) e R225 (+0,28%). No

EXP2 o destaque foi o método de Bitterlich, sendo que os melhores tratamentos foram: K6(+0,09%), K1.5 (-0,14%), K4 (-0,21%), K1 (+0,31%) e C400 (-0,33%). No EXP3 o método de Prodan se destacou junto com área fixa circular, com as melhores posições ocupadas por: P8 (0,00%), C400 (+0,02%), P6 (+0,11%), C200 (+0,13%) e P12 (-0,14%).

A Figura 31 apresenta os resultados dos diâmetros médios ordenados de forma decrescente para todas as áreas experimentais, com as melhores posições destacadas.

Figura 31 Resultados dos diâmetros médios ordenados dos três experimentos



Mesmo o método de Bitterlich apresentando resultados consistentes para a variável "d" estimados pela fórmula de Nishizawa (1972), porém utilizando a mesma formulação aplicada nos demais métodos, o conjunto de dados levantados por Bitterlich superestimariam a variável, principalmente na área não manejada, conforme é apresentado na Tabela 18.

Tabela 18 Diferenças entre as médias do "d" obtidas no método de Bitterlich.

Experimento	Tratamento	d (cm)		$\Delta (A-B)$
		Média A	Média B	
EXP1	K1	23,7	22,2	1,5
	K1.5	23,6	22,1	1,5
	K2	23,5	22,0	1,5
	K4	23,3	21,8	1,5
	K6	23,2	21,8	1,4
	K10	23,4	21,7	1,7
EXP2	K1	24,7	23,8	0,9
	K1.5	24,6	23,9	0,7
	K2	24,6	23,7	0,8
	K4	24,3	23,8	0,5
	K6	24,4	24,3	0,1
	K10	24,8	23,7	1,1
EXP3	K1	31,6	30,7	0,9
	K1.5	31,4	30,6	0,8
	K2	31,3	30,6	0,8
	K4	31,2	30,5	0,6
	K6	31,6	30,9	0,7
	K10	31,1	30,6	0,5

Em que: **Média A** foram calculados conforme a formulação aplicada nos demais métodos testados; **Média B** foram obtidos pela formulação de NISHIZAWA (1972); **$\Delta (A-B)$** é a diferença absoluta entre as médias.

De fato a metodologia de amostragem de Bitterlich tende a buscar indivíduos de maiores diâmetros à medida que as árvores se afastam do centro da UA, tendendo sempre a excluir as mais finas.

6.4.5 Análise da distribuição diamétrica

As distribuições diamétricas (DD) estimadas nos tratamentos foram comparadas com os valores paramétricos (censo), utilizando o teste de aderência de KS_{ad} a 99% de probabilidade.

Pode-se observar na Tabela 19, que para os EXP1 e EXP2, metade dos tratamentos apresentaram-se aderentes aos censos (indicados com asteriscos). Já para a área o EXP3, com baixa densidade de árvores, a maioria dos tratamentos foi aderente ao censo.

Tabela 19 Resultados do Teste KS_{ad} aplicado na distribuição diamétrica dos tratamentos

Posição	EXP1		EXP2		EXP3	
	Trat.	D _{calc}	Trat.	D _{calc}	Trat.	D _{calc}
1 ^a	M75	0,0174*	K1.5	0,0374*	R625	0,0164*
2 ^a	M100	0,0230*	M100	0,0385*	C600	0,0228*
3 ^a	R400	0,0233*	K1	0,0421*	M100	0,0232*
4 ^a	M50	0,0264*	R625	0,0422*	M50	0,0297*
5 ^a	C600	0,0299*	R400	0,0425*	R400	0,0298*
6 ^a	R625	0,0307*	C400	0,0499*	K1	0,0301*
7 ^a	M25	0,0324*	K4	0,0517*	K4	0,0316*
8 ^a	R225	0,0353*	M75	0,0522*	K2	0,0415*
9 ^a	P12	0,0423*	K6	0,0523*	M75	0,0418*
10 ^a	K1.5	0,0431*	C600	0,0525*	M25	0,0441*
11 ^a	C400	0,0451	R225	0,0526*	P12	0,0458*
12 ^a	K1	0,0479	M50	0,0645	C400	0,0475*
13 ^a	C200	0,0529	K2	0,0734	K1.5	0,0577*
14 ^a	K2	0,0537	C200	0,0842	R225	0,0645*
16 ^a	P8	0,0627	P10	0,0903	C200	0,0712
17 ^a	K4	0,0670	M25	0,0926	P10	0,0806
18 ^a	P6	0,0736	P12	0,0933	K10	0,0871
19 ^a	K6	0,1050	P8	0,0968	P8	0,0913
20 ^a	K10	0,1096	P6	0,1067	P6	0,1032
D_{n99%}	0,0445		0,0580		0,0748	

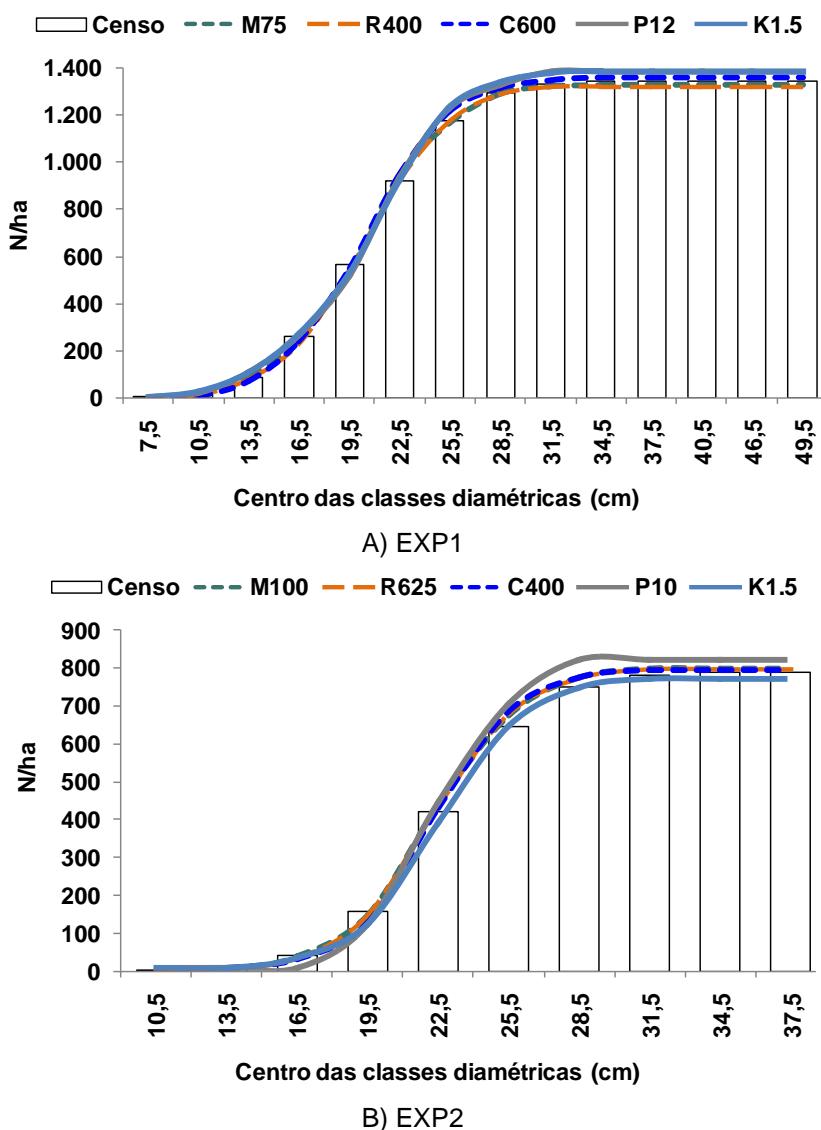
Em que: **D_{n99%}** é a distância máxima permitida pelo teste KS_{ad} calculada com base no N.ha⁻¹ obtido no censo, com 99% de probabilidade estatística. **D_{calc}** é a distância calculada para os tratamentos. **Trat.** = tratamento; Apenas os tratamentos indicados com asteriscos são aderentes ao parâmetro; Os melhores tratamentos foram **destacados**.

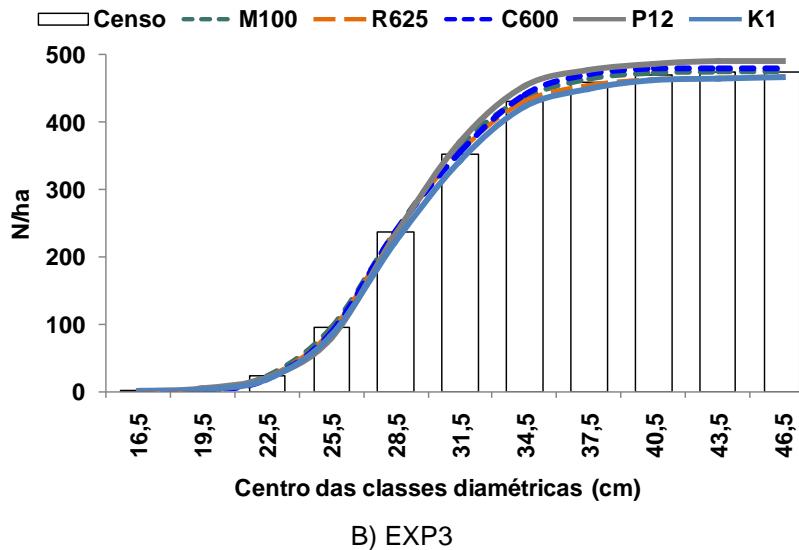
Ainda na Tabela 19, nota-se que para o EXP1 (não manejado), o método mais aderente ao parâmetro foi o M25 (com 3 posições), seguido pelo método

de área fixa retangular e circular. As melhores posições foram ocupadas por M75, M100, R400, M50 e C600. No EXP2, com um desbaste seletivo, o método de Bitterlich e área fixa retangular foram os mais consistentes, com as melhores posições ocupadas por K1.5, M100, K1, R625 e R400. Já para o EXP3 (com duas intervenções de manejo), os métodos mais consistentes foram os de área fixa retangular e circular, e M25, com as melhores posições ocupadas por R625, C600, M100, M50 e R400.

A Figura 32 apresenta a distribuição de frequência acumulada dos tratamentos mais aderentes dentro de cada metodologia de amostragem testada, em classes diamétricas com intervalo de 3 cm, nas áreas experimentais.

Figura 32 Distribuição de frequência acumulada dos experimentos





B) EXP3

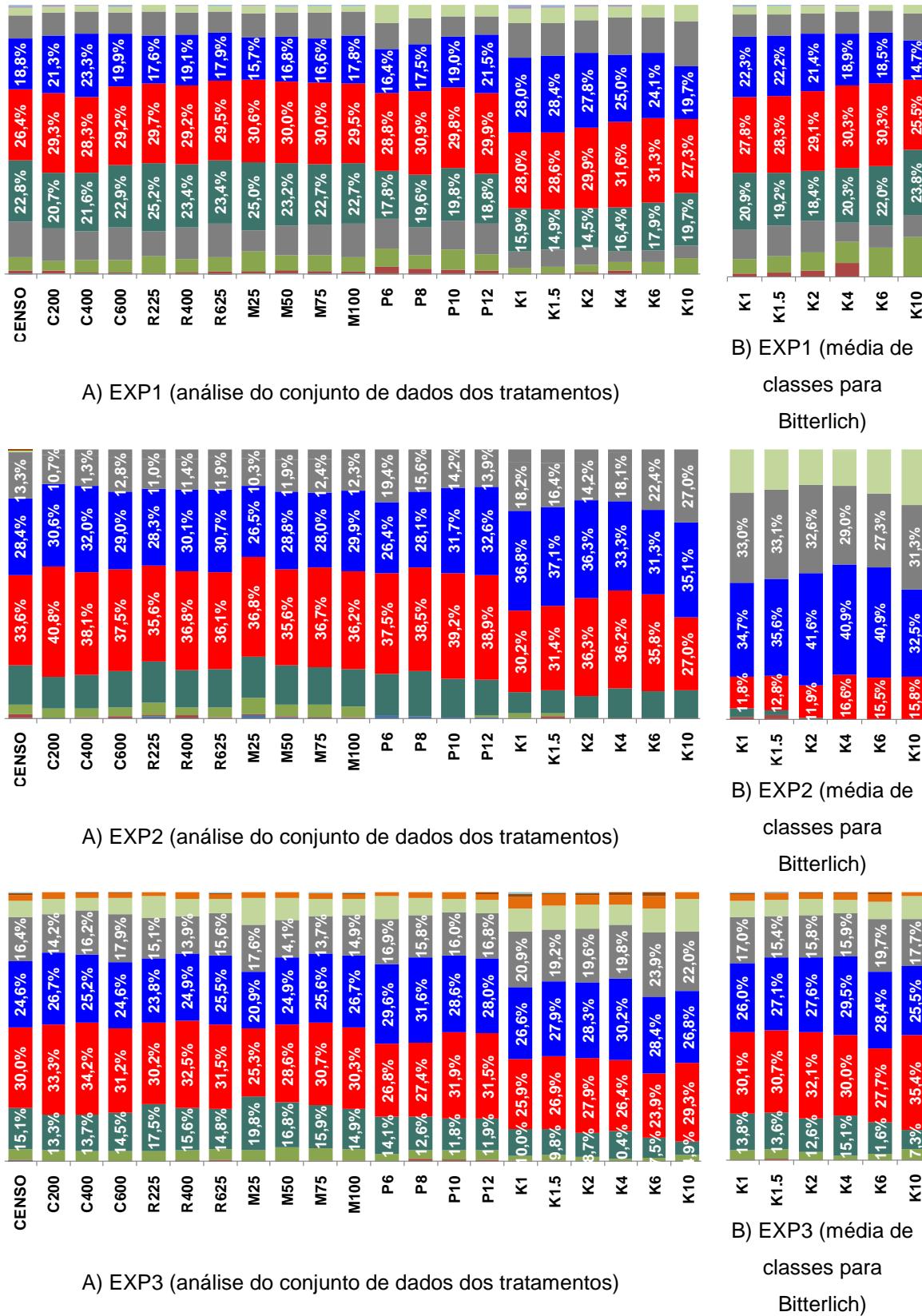
A Figura 32A mostra que no EXP1, o método de Bitterlich (representado por K1) apresenta uma leve superestimativa nas classes superiores (a partir da classe 26,5 cm) quando comparado aos demais métodos. Já os métodos M25 e área fixa retangular mostraram leve subestimativa para as mesmas classes.

No EXP2 (Figura 32B) nota-se que o tratamento de Prodan (P10), além de não ser aderente ao parâmetro, superestimou os resultados das classes diamétricas superiores. Os demais métodos demonstraram certa similaridade.

Já no EXP3 o tratamento de Prodan (P12) apresentou uma leve superestimativa nas classes superiores, comportamento inverso foram obtidos pelo método de Bitterlich (K1) subestimando as superiores.

Em uma outra abordagem, a Figura 33 mostra para todos os experimentos, o percentual do número de árvores distribuídas nas classes diamétricas com intervalo de 3 cm avaliados por duas maneiras distintas: A) Lado esquerdo dos gráficos - Comparação das distribuições diamétrica dos conjuntos de dados completos medidos nos censos e nos tratamentos; e B) Lado direito dos gráficos - Distribuições diamétricas dos tratamentos de Bitterlich obtidas pelas médias das UA, separadas por classes, conforme Machado e Figueiredo Filho (2006).

Figura 33 Percentual de árvores dentro das classes diamétricas dos experimentos



É possível perceber na Figura 34 que os conjuntos de dados coletados pelos tratamentos de Bitterlich destoam dos parâmetros e das demais estimativas, mostrando que o método tende a subestimar o percentual de árvores nas classes anteriores superestimando as classes superiores, fato não observado com os tratamentos de área fixa, M25 e Prodan.

Porém, utilizando-se a média aritmética dos percentuais em cada classe diamétrica, conforme demonstrado por Machado e Figueiredo Filho (2006), os resultados observados para Bitterlich foram:

- No EXP1 - superestimativas das classes inferiores, subestimando as superiores (o contrário visto no conjunto de dados). Com as diferenças tendendo a aumentar quanto maior for o FAB;
- No EXP2 - os resultados obtidos pelas médias das classes ficaram ainda piores que o do conjunto de dados. Ocorreu superestimativa das classes superiores (subestimando as inferiores). Outro fato relevante foi a mudança da classe central; e
- No EXP3 - os resultados obtidos pelas médias das classes se ajustaram melhor nesta área, devido à maior homogeneização dos diâmetros em função dos desbastes.

6.4.6 Eficiência relativa dos métodos de amostragens

A eficiência é uma das maneiras de se determinar qual é a melhor escolha entre duas ou mais amostragens, e o cálculo é realizado com base nas estimativas do CV% e no tempo das medições, ou custo do levantamento (PELLICO NETTO e BRENA, 1997).

Para este tópico foram selecionados apenas tratamentos com os maiores conjuntos de dados: C600, R625, M100, P12 e K1; considerando o tempo gasto efetivamente com as medições dentro das árvores das unidades amostrais. Foram descartados os tempos gastos com a limpeza do local de trabalho e com os deslocamentos entre unidades amostrais.

A Tabela 20, utilizando dados dos experimentos 1 e 2, demonstra que os métodos de área fixas (circular e retangular) foram os métodos mais eficientes, considerando a variável volume por hectare. Para a variável volume

por hectare, os tratamentos do método de Bitterlich foram os menos eficientes, em função da grande quantidade de tempo utilizado nos levantamentos.

Tabela 20 Eficiência dos métodos de amostragem da variável volume por hectare nos EXP1 e EXP2

Local	Tratamento	Volume (m ³ .ha ⁻¹)	Er%	EA%	CV%	Tempo (horas)	EF	%EF
EXP1	Censo	432,6				52,1		
	C600	434,7	3,50	0,80	5,50	10,10	32,7	100,0
	R625	423,9	5,17	-2,34	8,14	14,68	10,3	31,4
	M100	421,2	4,63	-1,59	7,28	10,68	17,6	54,0
	P12	439,5	9,91	1,62	15,59	3,25	12,7	38,7
EXP2	K1	427,0	4,81	-1,62	7,57	17,43	10,0	30,6
	Censo	347,4				16,4		
	C600	351,5	4,79	1,19	7,54	9,77	18,0	78,2
	R625	349,0	3,63	0,48	5,72	13,32	23,0	100,0
	M100	346,9	4,68	-0,13	7,37	10,93	16,8	73,3
	P12	353,8	10,24	1,86	16,12	2,53	15,2	66,1
	K1	344,2	7,79	-0,92	12,26	8,27	8,0	35,0

Em que: **Er%** é o erro real em percentagem; **EA%** é o erro de estimativa; **CV%** é o coeficiente de variação; **EF** é a eficiência calculada; **%EF** é a eficiência relativa com base no mais tratamento mais eficiente, que foram **destacados**.

Ainda na Tabela 20, nota-se a grande quantidade de tempo gasto com a realização dos censos, motivo pelo qual não são utilizados com frequência em inventários florestais. Foram 6 dias de trabalhos de mensuração das árvores no EXP1 (± 7900 árvores), e em torno de 2 dias para mensurar o EXP2 (± 2300 árvores) e o EXP3 (± 1900 árvores).

Os resultados da eficiência calculada para V.ha⁻¹ utilizando o CV% favoreceu bastante os métodos que utilizam parcelas com área fixas. Os tratamentos de Prodan e Bitterlich foram menos eficientes, pois estimaram os maiores CV%, e o tempo de coleta de dados não foi suficiente para elevar o valor de EF.

As Tabelas 21 e 22 mostram as eficiências calculadas com as variáveis G.ha⁻¹ e N.ha⁻¹ respectivamente.

Tabela 21 Eficiência dos métodos de amostragem da variável área basal por hectare nos EXP1 e EXP2

Local	Tratamento	Área Basal (m ² .ha ⁻¹)	Er%	EA%	CV%	Tempo (horas)	EF	%EF
EXP1	Censo	52,7				52,1		
	C600	53,1	3,06	0,80	4,82	10,10	42,6	100,0
	R625	51,5	4,63	-2,34	7,29	14,68	12,8	30,1
	M100	51,9	4,05	-1,59	6,37	10,68	23,0	54,1
	P12	53,5	9,44	1,62	14,86	3,25	13,9	32,7
EXP2	K1	51,8	4,73	-1,62	7,44	17,43	10,4	24,3
	Censo	35,8				16,4		
	C600	36,6	4,46	1,55	7,02	9,77	20,8	75,7
	R625	35,7	3,32	-0,77	5,23	13,32	27,5	100,0
	M100	35,7	4,23	-0,72	6,66	10,93	20,7	75,2
	P12	36,0	9,01	0,01	14,18	2,53	19,6	71,5
	K1	35,1	7,74	-2,57	12,18	8,27	8,2	29,7

Em que: **Er%** é o erro real em percentagem; **EA%** é o erro de estimativa; **CV%** é o coeficiente de variação; **EF** é a eficiência calculada; **%EF** é a eficiência relativa com base no mais eficiente. Os métodos mais eficientes foram **destacados**.

Tabela 22 Eficiência dos métodos de amostragem da variável número de árvores por hectare nos EXP1 e EXP2

Local	Tratamento	Árvores (N.ha ⁻¹)	Er%	EA%	CV%	Tempo (horas)	EF	%EF
EXP1	Censo	1.344				52,1		
	C600	1.357	6,12	0,97	9,63	10,10	10,7	93,3
	R625	1.341	6,50	-0,20	10,23	14,68	6,5	56,9
	M100	1.342	5,82	-0,14	9,16	10,68	11,2	97,6
	P12	1.368	10,42	1,85	16,40	3,25	11,4	100,0
EXP2	K1	1.305	8,17	-2,84	12,86	17,43	3,5	30,3
	Censo	789				16,4		
	C600	815	4,72	3,34	4,46	9,77	51,5	47,2
	R625	798	2,80	1,16	2,62	13,32	109,0	100,0
	M100	799	3,32	1,28	3,11	10,93	94,5	86,7
	P12	806	8,90	2,21	8,25	2,53	58,0	53,2
	K1	772	7,51	-2,18	6,99	8,27	24,7	22,7

Em que: **Er%** é o erro real em percentagem; **EA%** é o erro de estimativa; **CV%** é o coeficiente de variação; **EF** é a eficiência calculada; **%EF** é a eficiência relativa com base no mais eficiente. Os métodos mais eficientes foram **destacados**.

A Tabela 22 mostra que para a variável $N.ha^{-1}$ o método de Prodan foi mais eficiente que os demais no EXP1, não somente por ter o menor tempo de coleta entre os métodos, mas também pelos CV% superiores obtidos também pelos outros tratamentos, nivelando as eficiências calculadas.

De fato, as análises das Tabelas 20, 21 e 22 mostraram que os métodos que utilizam áreas fixas levaram vantagens sobre os demais métodos. O método M25 ocupou posições intermediárias (quase sempre as segundas posições), e os métodos alternativos (Prodan e Bitterlich) ocuparam as últimas colocações devido basicamente em função dos seus altos valores de CV%.

6.4.7 *Ranking* de resultados

Devido aos resultados obtidos nos levantamentos e dos censos estarem muito próximos entre si, e também diante das diferentes performances de cada tratamento frete as variáveis $V.ha^{-1}$, $G.ha^{-1}$, $N.ha^{-1}$, d e DD , nenhum método pôde ser considerado como "o melhor".

Sendo bastante óbvio, tratando-se de amostragens, o método escolhido deve ser versátil: com fácil operacionalização em campo, rápida execução, além de fornecer estimativas precisas para todos os atributos florestais. Diante disso buscou-se estabelecer um *ranking* dos tratamentos em função da acuracidade (Er%), envolvendo todas as cinco variáveis dendrométricas estudadas neste trabalho, mostrado na Tabela 23.

Ainda na Tabela 23 mostra que os métodos de áreas fixas (circular e retangular) e M25 obtiveram as melhores posições no EXP1 (R225, M100, M50, C600 e M75), sendo possível identificar que o tamanho da UA não impacta na qualidade dos resultados estimados. Com exceção do tratamento K1, que estimou com consistência as variáveis $G.ha^{-1}$ e $V.ha^{-1}$, o método de Bitterlich, segundo esse critério de pontuação, obteve o pior desempenho na área sem desbastes.

Tabela 23 *Ranking* completo dos tratamentos no EXP1

Trat.	Volume		Área basal		Nº árvores		Diâmetro		DD		Geral	
	m ³ .ha ⁻¹	P.	m ² .ha ⁻¹	P.	N.ha ⁻¹	P.	cm	P.	Dn/Dcalc	P.	Σ	P.
CENSO	432,6	1	52,7	1	1.344	1	21,9	1	0,0445	1	5	1
R225	430,7	2	52,1	3	1.338	6	21,9	6	0,0353	9	26	2
M100	421,2	11	51,9	7	1.342	2	21,8	5	0,0230	3	28	3
M50	419,4	14	51,9	6	1.340	5	21,9	3	0,0264	5	33	4
C600	434,7	3	53,1	2	1.357	8	22,0	15	0,0299	6	34	5
M75	418,9	15	51,6	10	1.330	9	21,9	2	0,0174	2	38	6
R625	423,9	9	51,5	12	1.341	4	21,8	11	0,0307	7	43	7
P12	439,5	6	53,5	8	1.368	11	22,0	9	0,0423	10	44	8
C400	437,6	4	53,4	5	1.341	3	22,2	21	0,0451	12	45	9
R400	424,2	8	51,3	16	1.321	10	22,0	8	0,0233	4	46	10
C200	425,1	7	52,0	4	1.307	15	22,2	19	0,0529	14	59	11
K1	427,0	5	51,8	9	1.305	16	22,2	20	0,0479	13	63	12
M25	413,5	20	51,1	17	1.317	13	21,8	7	0,0324	8	65	13
P10	441,7	10	53,9	11	1.399	19	21,8	10	0,0601	16	66	14
P8	444,5	13	54,0	13	1.369	12	22,1	17	0,0627	17	72	15
K4	416,0	17	50,7	19	1.336	7	21,8	12	0,0670	18	73	16
K2	444,1	12	54,0	15	1.391	18	22,0	13	0,0537	15	73	17
P6	446,6	16	54,0	14	1.372	14	22,0	14	0,0736	19	77	18
K1.5	449,8	18	54,6	18	1.386	17	22,1	18	0,0431	11	82	19
K6	460,0	21	56,0	21	1.466	20	21,8	4	0,1050	20	86	20
K10	450,8	19	55,0	20	1.476	21	21,7	16	0,1096	21	97	21

Em que: **DD** é a distribuição diamétrica; **Dn/Dcalc** é a distância do teste de aderência KS_{ad}; **P.** é a posição alcançada; **Σ** é o somatório das pontuações. As melhores posições foram **destacadas**.

A Tabela 24 apresenta o *ranking* completo dos tratamentos testados no EXP2 (com um desbaste seletivo), indicando bastante equilíbrio de performances entre os métodos de amostragem M25, AFR, AFC e Bitterlich, ocupando as 5 primeiras posições (M100, R625, C400, R400 e K4). Os tratamentos M25, M50 e M75 (do método modular) junto com os tratamentos de Bitterlich (K6 e K10) obtiveram os piores escores.

Tabela 24 *Ranking* de tratamentos do EXP2

Trat.	Volume m ³ .ha ⁻¹	P.	Área basal m ² .ha ⁻¹	P.	Nº árvores N.ha ⁻¹	P.	Diâmetro cm	P.	DD	Dn/Dcalc	P.	Geral Σ	P.
CENSO	347,4	1	35,8	1	789	1	23,8	1	0,0580	1	5	1	
M100	346,9	2	35,7	3	799	6	23,6	9	0,0385	3	23	2	
R625	349,0	6	35,7	4	798	5	23,7	8	0,0422	5	28	3	
C400	345,0	8	35,6	8	794	3	23,7	7	0,0499	7	33	4	
R400	350,8	11	35,7	5	800	8	23,6	15	0,0425	6	45	5	
K4	342,8	14	35,0	17	789	2	23,7	4	0,0517	8	45	6	
K1.5	343,2	13	35,0	17	777	10	23,7	3	0,0374	2	45	7	
K2	346,5	4	35,3	10	778	7	23,9	12	0,0734	14	47	8	
K1	344,2	9	35,1	16	772	13	23,8	5	0,0421	4	47	9	
P10	349,7	7	35,6	7	803	11	23,6	11	0,0903	16	52	10	
P6	347,9	3	35,3	12	795	4	23,6	14	0,1067	20	53	11	
C600	351,5	12	36,6	15	815	15	23,7	6	0,0525	11	59	12	
P12	353,8	16	36,0	6	806	14	23,6	10	0,0933	18	64	13	
P8	345,9	5	35,2	14	800	9	23,5	18	0,0968	19	65	14	
C200	350,6	10	36,2	9	817	16	23,6	17	0,0842	15	67	15	
R225	352,7	15	35,3	11	805	12	23,4	19	0,0526	12	69	16	
M75	357,6	18	36,5	13	817	17	23,6	16	0,0522	9	73	17	
M25	356,6	17	35,9	2	826	18	23,3	20	0,0926	17	74	18	
K6	328,2	21	33,5	21	750	20	23,8	2	0,0523	10	74	19	
M50	366,4	20	37,0	19	826	19	23,6	13	0,0645	13	84	20	
K10	330,0	19	33,6	20	733	21	24,3	21	0,1480	21	102	21	

Em que: **DD** é a distribuição diamétrica; Dn/Dcalc é a distância do teste de aderência KSad; **P.** é a posição; Σ é o somatório alcançado pelos tratamentos. As melhores posições foram **destacadas**.

A Tabela 25 mostra o *ranking* completo dos tratamentos testados no EXP3 (com dois desbastes), indicando que método mais adequado para a área foi o M25, com os 3 tratamentos posicionados entre as 5 melhores (M25, M100, C600, M75 e P12). Novamente os métodos alternativos de Prodan e Bitterlich configuraram nas posições mais baixas do *ranking*.

Tabela 25 *Ranking* de tratamentos do EXP3

Trat.	Volume $m^3.ha^{-1}$	P.	Área basal $m^2.ha^{-1}$	P.	Nº árvores $N.ha^{-1}$	P.	Diâmetro cm	P.	DD	Dn/Dcalc	P.	Geral \sum	P.
CENSO	399,5	1	35,2	1	475	1	30,4	1	0,0000	1	5	1	
M25	398,8	3	34,9	5	475	2	30,4	7	0,0441	11	28	2	
K4	400,5	4	35,0	4	475	3	30,5	10	0,0316	8	29	3	
M100	397,9	6	34,8	8	476	4	30,3	12	0,0232	4	34	4	
C600	395,8	9	35,5	6	480	8	30,5	8	0,0228	3	34	5	
P12	395,7	10	34,9	7	480	6	30,4	6	0,0458	12	41	6	
M50	401,6	7	35,1	2	485	12	30,2	18	0,0297	5	44	7	
M75	400,1	2	35,1	3	484	10	30,2	20	0,0418	10	45	8	
C400	396,7	8	35,7	9	487	13	30,4	3	0,0475	13	46	9	
R400	389,7	14	34,7	10	477	5	30,3	13	0,0298	6	48	10	
R625	384,8	16	34,1	14	468	9	30,3	11	0,0164	2	52	11	
K1	398,1	5	34,7	11	466	11	30,7	19	0,0301	7	53	12	
C200	406,7	11	36,6	17	499	19	30,5	5	0,0712	16	68	13	
P10	408,4	13	36,1	12	495	17	30,3	9	0,0806	17	68	14	
P6	411,1	15	36,4	16	490	14	30,5	4	0,1032	20	69	15	
K2	415,9	17	36,3	15	492	16	30,6	14	0,0415	9	71	16	
K10	391,2	12	34,2	13	460	15	30,6	17	0,0871	18	75	17	
R225	361,6	21	32,3	21	470	7	30,3	16	0,0645	15	80	18	
P8	422,6	20	37,3	19	502	20	30,4	2	0,0913	19	80	19	
K1.5	420,6	19	36,6	18	499	18	30,6	15	0,0577	14	84	20	
K6	378,4	18	33,0	20	436	21	30,9	21	0,1131	21	101	21	

Em que: **DD** é a distribuição diamétrica; **Dn/Dcalc** é a distância do teste de aderência **KS_{ad}**; **P.** é a posição; \sum é o somatório alcançado. As melhores posições foram **destacadas**.

6.4.8 O efeito da área efetivamente plantada nos experimentos

A área efetiva de plantio considerada no processamento do inventário florestal é de fundamental importância no cálculo do estoque total de matéria prima (produto da variável agrupada por unidade de área), e é fundamental para a determinação tamanho da população, e dos parâmetros utilizados na comparação dos dados estimados.

Neste estudo, que utilizou experimentos relativamente pequenos (entre 3 e 6 hectares), variações de tamanho dos experimentos foram capazes de influenciar de forma significativamente nas comparações entre censo e

tratamentos, alterando os valores dos erros reais (Er%) para mais ou para menos, dependendo do tratamento utilizado.

As áreas cadastrais assumidas como verdadeiras (*default*), consideraram um espaço adicional 1,25 metros (metade de um espaçamento 2,5x2,5 metros) além da base da árvore da bordadura, considerado espaço útil das primeiras e últimas árvores de cada fileira.

Outros dois tamanhos alternativos foram testados para verificar os efeitos sobre os resultados do censo: uma área menor, tangenciando a árvore da borda do talhão, e outra maior, adicionando outro *buffer* de $\pm 1,25$ metros em torno da área *default*, tida como original. A Tabela 26 mostra as áreas correspondentes aos 3 cenários cadastrais.

Tabela 26 Cenários das simulações das áreas dos 3 experimentos

Experimento	Variável	Cenário		
		-1,25m	Cadastro	+ 1,25m
EXP1	Área (ha)	5,580	5,719	5,859
	Δ %	-2,43	-	+2,45
EXP2	Área (ha)	2,729	2,919	3,095
	Δ %	-6,51	-	+6,01
EXP3	Área (ha)	4,029	4,157	4,285
	Δ %	3,06	-	-3,08

Obs.: as diferenças do experimento número 2 são maiores devido área ser fragmentada em 3 partes, aumentando o efeito da bordadura.

A Tabela 27 mostra os resultados das simulações para o EXP1, sendo possível identificar através do Er1% (representando uma área maior), Er2% (área *default*) e Er3% (área menor). As Tabelas 29 e 30 mostram os resultados das simulações para o EXP2 e EXP3 respectivamente.

É possível notar na Tabela 27 que com a diminuição do tamanho efetivo do EXP1 é gerado automaticamente uma superestimativa dos resultados por hectare dos parâmetros, fazendo com que os resultados dos métodos alternativos de Bitterlich e principalmente Prodan ficassem mais acurados (Er3%). Já com o aumento da área efetiva resulta nas subestimativas dos parâmetros, tornando os resultados dos métodos de área fixa retangular e M25 mais acurados (Er1%).

Tabela 27 Simulação dos erros reais (Er%) com alteração da área do EXP1

Trat.	N.ha ⁻¹	Er1%	Er2%	Er3%	G.ha ⁻¹	Er1%	Er2%	Er3%	V.ha ⁻¹	Er1%	Er2%	Er3%
C200	1307	-0,33	-2,71	-5,08	52,0	1,16	-1,26	-3,66	425,1	0,67	-1,74	-4,09
C400	1341	2,28	-0,17	-2,59	53,4	3,89	1,41	-1,06	437,6	3,64	1,16	-1,26
C600	1357	3,45	0,97	-1,48	53,1	3,27	0,80	-1,65	434,7	2,94	0,48	-1,92
R225	1338	2,01	-0,43	-2,85	52,1	1,31	-1,11	-3,52	430,7	2,00	-0,44	-2,83
R400	1321	0,73	-1,68	-4,07	51,3	-0,17	-2,56	-4,92	424,2	0,45	-1,95	-4,30
R625	1341	2,24	-0,20	-2,63	51,5	0,06	-2,34	-4,71	423,9	0,38	-2,03	-4,37
M25	1317	0,40	-2,00	-4,38	51,1	-0,68	-3,05	-5,41	413,5	-2,09	-4,43	-6,72
M50	1340	2,21	-0,23	-2,66	51,9	0,83	-1,58	-3,97	419,4	-0,67	-3,05	-5,37
M75	1330	1,41	-1,02	-3,42	51,6	0,34	-2,07	-4,44	418,9	-0,80	-3,17	-5,49
M100	1342	2,31	-0,14	-2,56	51,9	0,82	-1,59	-3,98	421,2	-0,26	-2,65	-4,98
P6	1372	4,62	2,12	-0,36	54,0	4,99	2,48	-0,01	446,6	5,77	3,24	0,77
P8	1369	4,37	1,87	-0,60	54,0	4,94	2,43	-0,06	444,5	5,25	2,74	0,28
P10	1399	6,69	4,14	1,61	53,9	4,79	2,28	-0,21	441,7	4,60	2,10	-0,34
P12	1368	4,35	1,85	-0,62	53,5	4,11	1,62	-0,85	439,5	4,09	1,60	-0,83
K1	1305	-0,45	-2,84	-5,20	51,8	0,79	-1,62	-4,01	427,0	1,13	-1,29	-3,65
K1.5	1386	5,67	3,14	0,63	54,6	6,22	3,67	1,16	449,8	6,52	3,97	1,48
K2	1391	6,05	3,51	1,00	54,0	5,00	2,49	0,00	444,1	5,18	2,66	0,21
K4	1336	1,84	-0,59	-3,01	50,7	-1,48	-3,84	-6,17	416,0	-1,49	-3,84	-6,15
K6	1466	11,81	9,14	6,48	56,0	8,89	6,28	3,70	460,0	8,93	6,33	3,78
K10	1476	12,56	9,86	7,19	55,0	6,95	4,39	1,85	450,8	6,76	4,21	1,71
Censo*	1311	1344	1377		51,4	52,7	54,0		422,3	432,6	443,2	

Em que: **Er1%** é o erro real calculado com o aumento da área; **Er2%** é o erro real com base na área cadastral utilizada neste trabalho; **Er3%** é o erro real com a redução da área; **Censos*** valores observados nos censos de cada experimento com referência ao hectare considerando a unidade de medida de respectiva variável analisada. Em **destaque** estão os resultados mais próximos dos parâmetros.

A Tabela 28 mostra que com a redução da área do EXP2, consequentemente superestimativas dos parâmetros, os métodos M25 e áreas fixas se beneficiam. Já com o aumento da área e subestimativas dos parâmetros, o método de Bitterlich ocupou quase todas as posições, pois especificamente nesta área o método de Bitterlich já subestimava sozinho todas as variáveis dendrométricas por hectare.

Tabela 28 Simulação dos erros reais (Er%) com alteração da área do EXP2

Trat.	N.ha ⁻¹	Er1%	Er2%	Er3%	G.ha ⁻¹	Er1%	Er2%	Er3%	V.ha ⁻¹	Er1%	Er2%	Er3%
C200	817	9,74	3,52	-3,22	36,2	6,99	0,93	-5,65	350,6	6,98	0,92	-5,66
C400	794	6,65	0,61	-5,95	35,6	5,16	-0,80	-7,26	345,0	5,29	-0,68	-7,15
C600	815	9,54	3,34	-3,40	36,6	8,13	2,01	-4,64	351,5	7,26	1,19	-5,41
R225	805	8,22	2,09	-4,56	35,3	4,40	-1,52	-7,93	352,7	7,62	1,52	-5,10
R400	800	7,48	1,39	-5,22	35,7	5,55	-0,44	-6,92	350,8	7,06	0,99	-5,59
R625	798	7,24	1,16	-5,43	35,7	5,67	-0,32	-6,82	349,0	6,51	0,48	-6,07
25	826	10,93	4,64	-2,17	35,9	6,04	0,03	-6,49	356,6	8,83	2,66	-4,03
M50	826	10,99	4,70	-2,12	37,0	9,28	3,09	-3,63	366,4	11,82	5,48	-1,39
M75	817	9,78	3,56	-3,19	36,5	7,82	1,71	-4,91	357,6	9,11	2,93	-3,77
M100	799	7,36	1,28	-5,32	35,7	5,72	-0,27	-6,77	346,9	5,87	-0,13	-6,63
P6	795	6,86	0,80	-5,76	35,3	4,34	-1,57	-7,98	347,9	6,15	0,14	-6,39
P8	800	7,56	1,46	-5,15	35,2	4,07	-1,83	-8,22	345,9	5,55	-0,43	-6,92
P10	803	7,91	1,80	-4,84	35,6	5,22	-0,74	-7,21	349,7	6,70	0,65	-5,90
P12	806	8,35	2,21	-4,45	36,0	6,49	0,46	-6,09	353,8	7,98	1,86	-4,77
K1	772	3,70	-2,18	-8,55	35,1	3,75	-2,13	-8,50	344,2	5,04	-0,92	-7,37
K1.5	777	4,43	-1,49	-7,91	35,0	3,50	-2,36	-8,72	343,2	4,74	-1,20	-7,63
K2	778	4,58	-1,35	-7,78	35,3	4,49	-1,43	-7,85	346,5	5,73	-0,26	-6,76
K4	789	5,97	-0,04	-6,55	35,0	3,50	-2,36	-8,72	342,8	4,60	-1,32	-7,75
K6	750	0,83	-4,88	-11,08	33,5	-0,93	-6,55	-12,63	328,2	0,16	-5,52	-11,7
K10	733	-1,47	-7,05	-13,11	33,6	-0,53	-6,17	-12,28	330,0	0,71	-5,00	-11,2
Censo*	744	789	844		34,0	36,0	38,5		327,7	347,4	371,6	

Em que: **Er1%** é o erro real calculado com o aumento da área; **Er2%** é o erro real com base na área cadastral utilizada neste trabalho; **Er3%** é o erro real com a redução da área; **Censo*** valores observados nos censos de cada experimento com referência ao hectare considerando a unidade de medida de respectiva variável analisada. Em **destaque** estão os resultados mais próximos dos parâmetros.

Já a Tabela 29, conforme visto no primeiro experimento, os métodos alternativos de Prodan e Bitterlich são favorecidos com a diminuição do tamanho do EXP3, concentrando o volume em uma área menor. Com o aumento do tamanho da área efetiva, os métodos M25 e AFR tornaram-se mais exatos.

Tabela 29 Simulação dos erros reais (Er%) com alteração da área do EXP3

Trat.	N.ha ⁻¹	Er1%	Er2%	Er3%	G.ha ⁻¹	Er1%	Er2%	Er3%	V.ha ⁻¹	Er1%	Er2%	Er3%
C200	499	8,34	5,10	1,89	36,6	7,12	3,92	0,74	406,7	4,95	1,82	-1,30
C400	487	5,66	2,50	-0,64	35,7	4,40	1,28	-1,82	396,7	2,37	-0,68	-3,72
C600	480	4,20	1,08	-2,01	35,5	3,97	0,86	-2,22	395,8	2,14	-0,91	-3,95
R225	470	2,04	-1,01	-4,04	32,3	-5,53	-8,35	-11,16	361,6	-6,68	-9,47	-12,2
R400	477	3,38	0,29	-2,78	34,7	1,49	-1,54	-4,55	389,7	0,57	-2,43	-5,42
R625	468	1,51	-1,52	-4,54	34,1	0,10	-3,08	-6,05	384,8	-0,70	-3,67	-6,62
M25	475	2,99	-0,09	-3,15	34,9	2,21	-0,84	-3,88	398,8	2,90	-0,17	-3,23
M50	485	5,12	1,98	-1,14	35,1	2,79	-0,28	-3,33	401,6	3,64	0,54	-2,54
M75	484	4,98	1,85	-1,27	35,1	2,61	-0,45	-3,50	400,1	3,25	0,16	-2,90
M100	476	3,31	0,22	-2,85	34,8	1,88	-1,16	-4,19	397,9	2,69	-0,38	-3,43
P6	490	6,27	3,09	-0,07	36,4	6,62	3,44	0,27	411,1	6,07	2,90	-0,25
P8	502	8,95	5,69	2,45	37,3	9,10	5,84	2,60	422,6	9,05	5,79	2,55
P10	495	7,47	4,25	1,06	36,1	5,68	2,52	-0,62	408,4	5,38	2,23	-0,90
P12	480	4,06	0,96	-2,14	34,9	2,18	-0,87	-3,91	395,7	2,10	-0,95	-3,98
K1	466	1,16	-1,86	-4,87	34,7	1,45	-1,58	-4,60	398,1	2,72	-0,35	-3,40
K1.5	499	8,23	5,00	1,78	36,6	7,18	3,98	0,79	420,6	8,54	5,29	2,07
K2	492	6,67	3,48	0,32	36,3	6,32	3,15	-0,01	415,9	7,32	4,11	0,92
K4	475	2,97	-0,11	-3,17	35,0	2,42	-0,64	-3,68	400,5	3,36	0,27	-2,80
K6	436	-5,36	-8,19	-11,00	33,0	-3,43	-6,32	-9,18	378,4	-2,36	-5,28	-8,18
K10	460	-0,28	-3,26	-6,22	34,2	-0,02	-3,00	-5,97	391,2	0,95	-2,06	-5,06
Censo*	461	475	490		34,2	35,2	36,3		387,5	399,5	412,1	

Em que: **Er1%** é o erro real calculado com o aumento da área; **Er2%** é o erro real com base na área cadastral utilizada neste trabalho; **Er3%** é o erro real com a redução da área; **Censo*** valores observados nos censos de cada experimento com referência ao hectare considerando a unidade de medida de respectiva variável analisada. Em **destaque** estão os resultados mais próximos dos parâmetros.

Essas análises mostraram que existe uma tendência dos métodos alternativos de Bitterlich e principalmente Prodan de superestimar o valor do censo, contudo, a utilização de UAs com formatos circulares proporcionou menos dúvidas quanto o limite exato do talhão considerado no processamento dos dados. Visto que com a aleatorização do centro da UA, o método considerará as árvores contidas no espaço amostral.

7 DISCUSSÃO E RECOMENDAÇÕES

7.1 SOBRE A OPERACIONALIZAÇÃO DAS METODOLOGIAS TESTADAS NO CAMPO

Os censos das áreas demandaram aproximadamente 10 dias de trabalhos de uma equipe formado por 3 pessoas. A utilização desta forma de inventário florestal não se mostrou adequada, mesmo aplicada em uma área relativamente pequena (12,8 ha no total). Autores como Husch *et al.* (1982), Avery e Burkhart (1983), Péllico Netto e Brena (1997) e Sanquette *et al.* (2016) afirmaram que censos em plantios florestais podem ser utilizados em áreas bastante reduzidas, e/ou quando o valor da matéria prima permite tal feito. Inventários 100% são utilizados em planos de manejo de florestas nativas, ou como parte de um estudo científico como o desta dissertação. A amostragem foi a forma ideal para a obtenção dos atributos florestais utilizados neste estudo.

O método de Prodan (6 árvores) se destacou pela simplicidade na instalação da UA e pelo menor tempo de coleta de dados entre todos os testados, também não mostrou dificuldades na instalação das UA em locais inclinados, com sub-bosques e com galhos das árvores não podadas (EXP1).

O levantamento pelo método de Bitterlich foi realizado por uma equipe inexperiente neste tipo de amostragem, utilizando o medidor de área basal mais simples disponível, o que exigiu um cuidado muito maior nas medições. Devido à falta de um equipamento moderno que corrige a declividade do terreno automaticamente, foram medidos todos os diâmetros das árvores e suas distâncias até o centro da UA, com correção automática da declividade, conforme orientações de Finger (2006).

O método de Bitterlich apresentou dificuldades de instalações nos experimentos desbastados, cujo sub-bosques estavam presentes em boa parte da superfície dos talhões, e na área não manejada, os galhos não podados dificultaram a seleção das árvores. O mesmo provou ser uma boa opção em inventários florestais em qualquer situação de manejo, porém nessa pesquisa foi o método que apresentou os maiores contrastes de resultados, ora mais ora menos consistente, conforme o fator utilizado.

O método M25 se adaptou bem tanto em área não desbastada como desbastadas (inclusive com desbastes sistemáticos). Com um tempo de

instalação entre 12 e 16 minutos por módulo formado por 25 árvores, a rapidez deste método só é superado por Prodan. O método se mostrou muito menos trabalhoso que o de área fixa retangular aplicado em áreas inclinadas e sujas com vegetação nativa regenerante.

O estudo também consolidou os motivos pelos quais os métodos de amostragem com unidades amostrais com área fixa serem os mais utilizados em inventário florestais realizados pelo Brasil e no mundo, pois são de simples compreensão e execução no campo. A principal desvantagem desta técnica amostral é excesso de dados coletados em campo (SANQUETTA *et al.*, 2009; KOHLER, 2017). As dificuldades de instalações das UA aumentam bastante nos locais com relevo mais acidentado ou com sub-bosques mais desenvolvido.

7.2 QUANTO À PRECISÃO E A SUFICIÊNCIA AMOSTRAL DOS MÉTODOS DE AMOSTRAGEM

O tamanho e o formato das UA influenciaram muito pouco na acuracidade (Er%) das metodologias testadas, porém de forma significativa nas estimativas dos erros de amostragens. De maneira geral, quanto maior o tamanho das UA dos tratamentos, menor foram os erros amostrais estimados (conforme afirmações de Husch *et al.*, 1982; Avery e Burkhart, 1983; Pélico Netto e Brena, 1997).

Sobre a precisão dos tratamentos, o estudo mostrou que os erros amostrais (EA%) são sempre superestimados, independentemente da variável dendrométrica e do regime de manejo da área. Kohler (2017), Farias *et al.* (2019) e Miranda *et al.* (2022) evidenciaram em suas pesquisas de amostragens em áreas de *Pinus taeda* esse mesmo comportamento. De maneira geral, considerando todas as variáveis estudadas, os métodos de áreas fixas foram mais precisos que o método M25 e os demais alternativos.

Nesta pesquisa os métodos de amostragens de área variável (Prodan e Bitterlich) foram os menos precisos. Apenas o tratamento P12 ($\pm 9,9\%$ no EXP1) de Prodan alcançou suficiência amostral em todos os experimentos. Já no método de Bitterlich, apenas os tratamentos K1 e K1,5 estimaram erros amostrais abaixo do limite aceitável de $\pm 10\%$. Cesaro *et al.* (1994) estudando a eficiência dos métodos de amostragem de área fixa retangular (600 m^2),

Bitterlich (FAB=1) e Prodan (6 árvores) em um plantio de *Pinus* sp com 28 anos de idade manejado similar ao EXP3 (Santa Maria - RS), identificaram uma necessidade maior de unidades amostrais nos métodos alternativos (principalmente Prodan).

Estudos de amostragem com métodos de área fixa retangular e Bitterlich (FAB iguais a 1, 2 e 4), avaliando as variáveis $V.ha^{-1}$ e $G.ha^{-1}$ em áreas de *Eucalyptus grandis* com 5 anos de idade e sem desbastes (São José do Calçado - ES), realizados por Santos *et al.* (2015), também mostraram maior precisão no método tradicional de área fixa. No caso do Bitterlich a precisão diminuiu com o aumento do FAB. Farias *et al.* (2002) estudando um fragmento de Floresta Atlântica (Lavras - MG), e os mesmos tratamentos de inventário florestal também confirmaram a necessidade de ampliação da amostragem nos métodos de Bitterlich e Prodan.

Em termos de eficiência, essa pesquisa demonstrou que os métodos de área fixa tradicionais de inventário (retangular e circular), devido aos baixos CV% obtidos, são mais eficientes que os demais testados para as variáveis volume e área basal. O método de Prodan foi mais eficiente para a variável número de árvores, devido ao nivelamento dos CV% apresentados por todos as metodologias, porém mesmo com muito menos tempo em campo, Prodan não conseguiu ser mais eficiente para as demais variáveis. Nessa pesquisa, Bitterlich obteve CV% similares aos obtidos com áreas fixas, mas o tempo de medição das árvores deixou a Relascopia menos eficiente.

Cesaro *et al.* (1994) também identificaram que o método de área fixa foi mais eficiente que Bitterlich e Prodan, porém esses autores incluíram o tempo de deslocamento entre UA no tempo de execução das amostragens, e também o número necessário de UA para que todos os tratamentos alcançassem a suficiência amostral.

Outros estudos de eficiência dos métodos de amostragens em plantios de *Pinus taeda* com e sem desbastes realizado por Drusczcz *et al.* (2010) e Drusczcz (2014), e em plantios de *Tectona grandis* nessa mesma linha de trabalho feitos por Miranda *et al.* (2015) mostraram que o método de Bitterlich foi o mais preciso e eficiente para volume e área basal que os demais testados,

sendo que para o número de árvores e diâmetro médio o mais preciso e eficiente foram os métodos de área fixa.

Em estudos em florestas naturais, Farias *et al.* (2002) também identificaram Bitterlich como sendo o método mais preciso e eficiente para $V.ha^{-1}$ e $G.ha^{-1}$, e área fixa melhor para $N.ha^{-1}$ e "d". Já Moscovich *et al.* (1999), estudaram os métodos alternativos e tradicionais de inventário florestal em florestas nativas de araucária em São Francisco de Paula - RS, observaram melhor eficiência relativa para as estimativas de área basal e volume por hectare pelo método de Strand, seguido de Bitterlich, Prodán e área fixa.

Pode-se notar que os estudos de eficiência dos métodos mostraram divergência entre si, não conseguindo chegar a um consenso. Porém é fato notável que se incluídos os tempos de deslocamentos, os tempos de limpeza do ambiente de medição na instalação das unidades amostrais, e o número de UA necessárias para manter os limites de erros de amostragem abaixo do estipulado, dificilmente a amostragem de Bitterlich e principalmente Prodán seriam mais eficientes que as formas tradicionais de levantamentos utilizando áreas fixas circulares e retangulares.

7.3 SOBRE AS ACURACIDADE DOS MÉTODOS NA OBTENÇÃO DAS VARIÁVEIS DENDROMÉTRICAS

Todos os tratamentos demonstraram bastante consistência para estimar as variáveis dendrométricas por hectare $V.ha^{-1}$, $G.ha^{-1}$ e $N.ha^{-1}$, assim como a variável individual "d". Não foram evidenciadas diferenças estatísticas entre tratamentos para estas variáveis, confirmando como verdadeiras as afirmações de Husch *et al.* (1982), de que qualquer método é capaz de estimar com precisão e exatidão o volume e as características principais das florestas, respeitando certos limites impostos pela população foco do inventário florestal.

De maneira geral, as estimativas obtidas nos métodos alternativos de Bitterlich e Prodán principalmente, tenderam superestimar os resultados obtidos no método de área fixa no EXP1 e EXP3. Estudos como o de Santos *et al.* (2016) em plantios *Eucalyptus grandis* e Miranda *et al.* (2015) em áreas comerciais de *Tectona grandis* identificaram essas mesmas tendências em áreas não desbastadas. Em áreas desbastadas Druscz (2014) verificou, assim como esta pesquisa, subestimativas apresentadas por Bitterlich.

As simulações com tamanhos efetivos dos experimentos contido neste trabalho também confirmaram a tendência de superestimativas dos métodos alternativos, e também demonstrou que as unidades amostrais de área fixas retangulares ou quadradas, bem como o M25 tendem a subestimar as variáveis por hectare.

Quanto a acuracidade ($Er\%$), considerando as variáveis por hectare ($V.ha^{-1}$, $G.ha^{-1}$ e $N.ha^{-1}$), o método de área fixa (circular e retangular) no geral superou os demais testados na área não manejada. No EXP1 os métodos alternativos de Bitterlich (K1) e Prodan (P12) configuraram entre os melhores para a variável volume. O M25 se destacou para $N.ha^{-1}$ e conquistou a quinta melhor posição para $G.ha^{-1}$, conforme apresentado na Tabela 30.

Ainda na Tabela 30, nota-se um maior equilíbrio entre metodologias no EXP2, representados pelo mesmo número de tratamentos conquistados. Já no EXP3, com desbaste sistemático e seletivo, o método M25 foi o grande destaque, com os métodos alternativos de Prodan e Bitterlich mais acurados que o método tradicional (circular e retangular). Na Tabela 30 também são apresentados em destaque, os tratamentos que configuraram entre os melhores nas 3 variáveis agrupadas por unidade de área.

Tabela 30 Tratamentos que configuraram com as melhores posições para as variáveis dendrométricas por hectare

Área	Variável	1º	2º	3º	4º	5º
EXP1	$N.ha^{-1}$	M100	C400	R625	M50	R225
	$G.ha^{-1}$	C600	R225	C200	C400	M50
	$V.ha^{-1}$	R225	C600	C400	K1	P12
EXP2	$N.ha^{-1}$	K4	C400	P6	R625	M100
	$G.ha^{-1}$	M25	M100	R625	R400	C200
	$V.ha^{-1}$	M100	P6	K2	P8	R625
EXP3	$N.ha^{-1}$	M25	K4	M100	R400	P12
	$G.ha^{-1}$	M50	M75	K4	M25	C600
	$V.ha^{-1}$	M75	M25	K4	K1	M100

Em que: Foram **destacados** os tratamentos: C400 e R225 (EXP1); M100 e R625 (EXP2) e M25 e K4 (EXP3).

Também é notável que o tamanho das UA apresentou nenhum efeito sobre a acuracidade, pois são identificados nas 3 áreas experimentais, tratamentos com grande quantidade de dados disputando posições com os tratamentos com menos árvores mensuradas. Nesse sentido, destaca-se o tratamento M25 do método modular (com 160,3 m² de área média das UA) e K4 (computando 8,8 árvores dentro do giro de Bitterlich).

A grande maioria da bibliografia consultada (HUSCH *et al.*, 1982; AVERY e BURKHART, 1983; LAAR & AKÇA, 2007; PÉLLICO NETTO e BRENA, 1997; SANQUETTA *et al.*, 2009), os artigos referente aos trabalhos de amostragens aplicados em plantios florestais realizados por Drusczc *et al.* (2010), Drusczc (2014), Santos *et al.* (2015), Miranda *et al.* (2022), bem como aqueles realizados em florestas nativas como Farias *et al.* (2002), testaram o método de Bitterlich utilizando um FAB "adequado", que contendo basicamente entre 20 e 30 árvores em média dentro das UA.

O próprio Dr. Valter Bitterlich sugeriu qualquer número acima de 10 árvores dentro do giro seria suficiente para se estabelecer uma UA utilizando a Relascopia (FIORENTIN *et al.*, 2016), neste sentido o tratamento K4, se destacou no EXP3 não seria cogitado no planejamento de inventário florestal comercial em plantios aqui no Brasil.

Com relação as variáveis diâmetro e distribuição diamétrica é possível notar na Tabela 31 que o método M25 foi o destaque no EXP1, Bitterlich se destacou no EXP3 e por fim o método de Prodan obteve vantagem sobre os demais métodos na determinação dos diâmetros no EXP3.

Tabela 31 Tratamentos que configuraram com as melhores posições para as variáveis dendrométricas diâmetro médio e distribuição diamétrica

Área	Variável	1º	2º	3º	4º	5º
EXP1	d	M75	M50	K6	M100	R225
	DD	M75	M100	R400	M50	C600
EXP2	d	K6	K1.5	K4	K1	C600
	DD	K1,5	M100	K1	R625	R400
EXP3	d	P8	C400	P6	C200	P12
	DD	R625	C600	M100	M50	R400

Em que: Foram **destacados** os tratamentos: M50, M75 e M100 (EXP1); K1 e K1,5 (EXP2); e Prodan na determinação dos diâmetros médios P6, P8 e P12 (EXP3).

Na obtenção da variável distribuição diamétrica, boa parte dos tratamentos não foram aderentes ao censo (utilizando o teste KSad). Metade dos tratamentos das áreas EX1 (K1, K2, K4, K6, K10, P6, P8, P10, C200 e C400) e EXP2 (K2, K10, P6, P8, P10, P12, M25 e M50) foram reprovados, seguramente causado pela menor quantidade de dados levantados. Já no EXP3, sendo uma área mais homogênea quanto aos diâmetros e com uma distribuição espacial das árvores mais dispersa, apenas 5 tratamentos foram reprovados (P10, K10, P8, P6, K6).

Apesar do método de Bitterlich apresentar resultados consistentes para a variável "d", utilizando a formulação ajustada de Nishizawa (1972), a média real dos diâmetros coletados com a Relascopia supera os demais tratamentos e censos em todas as áreas.

Nos tratamentos de Bitterlich para o EXP1 foram observadas superestimativas do número de árvores nas classes inferiores em distribuições diamétricas, subestimando as superiores. Farias *et al.* (2002), que estudou os métodos de amostragem com área fixa e variável em um fragmento nativo em Lavras - MG, foi o único trabalho consultado que comparou a DD dos tratamentos, e concluiu que apenas o método de área fixa é aderente ao censo, e as estimas de Bitterlich tendem a superestimar as classes inferiores e superestimar as superiores (similarmente constatado aqui nessa pesquisa), piorando os resultados quanto maior for o FAB.

Para o EXP2 o método de Bitterlich não foi consistente para se analisar distribuição diamétrica, superestimando o número de árvores das classes superiores. Neste caso a análise do conjunto de dados completo, conforme foi utilizado nas demais metodologia, foi mais aderente ao censo.

Este comportamento observado nos 3 experimentos com utilização do método de Bitterlich, de ora superestimar, ora subestimar o número de árvores das classes finas e grossas vistas aqui, mais o fato que o método mostrou tendências de se coletar diâmetros sempre maiores que outros tratamentos testados e censo, geram dúvidas sobre a volumetria dos sortimentos

calculados para florestas plantadas, e que deveria ser melhor investigado em trabalhos futuros.

8 CONCLUSÃO

Foi possível identificar neste estudo que:

- Todos os métodos demonstraram ser adequados para amostragens em povoamentos de *Pinus taeda* L. em diferentes estágios de manejo, não sendo detectada nenhuma diferença significativa entre tratamentos nas variáveis dendrométricas $V.\text{ha}^{-1}$, $G.\text{ha}^{-1}$, $N.\text{ha}^{-1}$ e "d" (H_0 : verdadeiro);
- Para a distribuição diamétrica, boa parte dos tratamentos não passaram no teste de aderência de KSad, mostrando fortes indícios de que a pequena quantidade de dados associado seja a causa (H_1 verdadeira);
- Tratando-se de precisão, considerando todas as variáveis estudadas, os métodos tradicionais de área fixa (Circular e Retangular) levaram vantagens sobre os alternativos (Bitterlich e Prodan), sendo que esses últimos sempre necessitam de um número maior de UA (especialmente Prodan, com maioria dos tratamentos com insuficiência amostral), M25 foi mais preciso que os alternativos;
- Os erros amostrais são sempre superestimados, com as estimativas da variância, EA%, CV%, com valores tendendo a aumentar com o número de intervenções e quanto menor for o tamanho da UA. No caso da amostragem com o método de Bitterlich os erros aumentam a medida que se elevou o FAB;
- De maneira geral os métodos de áreas fixas (Circular e Retangular) foram mais consistente na área não manejada (EXP1). O método M25 se destacou no EXP3 (desbaste sistemático e seletivo). Já o EXP2, com um desbaste, apresentou maior equilíbrio entre os métodos;
- Tratando-se de acuracidade, e considerando todas as variáveis com o mesmo peso, o método M25 foi o que conquistou o maior número de posições entre as 5 melhores, seguido por área fixa (circular + retangular), Bitterlich e Prodan;
- Existe tendências de que os métodos alternativos de Prodan e Bitterlich superestimarem as variáveis dendrométricas por hectare. E dos métodos M25 e área fixa retangular subestimarem;

- O tamanho efetivo dos povoamentos se comportou como a variável mais impactante de um inventário florestal.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AVERY, T. E.; BURKHART H. E., **Forest Measurements**, Book 3ed. New York: McGraw-Hill, 1983, 325p.

CESARO, A.; ENGEL, O. A.; FINGER, C. A. G.; SCHNEIDER, P. R., **Comparação dos métodos de amostragem de área fixa, relascopia e de seis árvores, quanto a eficiência no inventário florestal de um povoamento de *Pinus sp.***, Ciência Florestal, Santa Maria - RS, v. 4, n. 1, p. 98-108, 1994.

DOBNER JUNIOR, M.; HUSS, J. **Desbaste pelo alto: uma alternativa rentável para povoamentos de *Pinus taeda* no Sul do Brasil**, Pomerode - SC, 2015, 28p.

DRUSZCZ, J. P.; NAKAJIMA, N. Y.; PÉLLICO NETTO, S.; YOSHITANI JUNIOR, M., **Comparação entre os métodos de amostragem de Bitterlich e de área fixa com parcela circular em plantação de *Pinus taeda***, Revista Floresta, Curitiba-PR, 2010, Vol.40, No.4, p. 739-754.

DRUSZCZ, J. P., **Métodos de amostragem com três variações estruturais em inventários florestais em plantações de *Pinus sp.***, Tese de doutorado, Curitiba-PR, 2014, 140p.

DRUSZCZ, J. P.; MACHADO, S. do A.; NAKAJIMA, N. Y.; ROSOT, N. C.; HOSOKAWA, R. T., **Efficiency of the Bitterlich point sampling and the method of fixed area sampling with structural variations in *Pinus taeda* plantations**, Revista Floresta, Curitiba, PR, v. 45, n. 3, p. 523 - 534, jul. / set. 2015.

FAO and UNEP, **The State of the World's Forests 2020. Forests, biodiversity and people**, Rome, 2020, DOI: <https://doi.org/10.4060/ca8642en>.

FARIAS, C. A.; SOARES, C. P. B.; SOUZA, A. L.; LEITE, H. G., **Comparação de métodos de amostragem para análise estrutural de florestas inequiâncias**, Revista Árvore, Viçosa-MG, 2002, v.26, n.5, p.541-548.

FARIAS, K. J.; STEPKA, T. F.; NICOLETTI, M. F.; SCHORR, L. P. B.; NOVACK JUNIOR, N. S. TURMINA, E.; HESS, A. F.; VENTURINI, V. C.; SOUZA, E. B. P.; HOFFMANN, D; PESCK, V. A.; LISBOA, G. S., **The Efficiency of Sampling Methods for Dendrometric Estimates of Thinned Stands of *Pinus taeda* L. in Santa Catarina, Brazil**, Journal of Agricultural Science; Vol. 11, No. 17; 2019.

FINGER, C. A. G., **Biometria Florestal**, Livro 1ed, Santa Maria-RS, 2006, 284p.

FIORENTIN, L. D.; MIRANDA, R. O. V.; JUVANHOL, R. S.; NASCIMENTO R. G. M. PÉLLICO NETTO, S.; MACHADO, S. A., **Método de amostragem de Bitterlich aplicado em uma Floresta Ombrófila Mista**, Rev. Bras. Biom., Lavras - MG, v.34, n.3, p.407-420, 2016.

GRAVES, H. S., **Forest Mensuration**, 1ed., New York, 1906, 429p.

GROSENBAUGH, L. H., **Point-sampling and line-sampling: Probability theory, geometric implications, synthesis.**, Occasional Paper 160, 1958, 34p.

HUSCH, B.; MILLER C. I.; BEERS T. W. **Forest Mensuration**, Book 3ed, New York, 1982, 337p.

IBÁ 2020, **Relatório anual 2020**, Brasília - DF, 2020, 122p.

KOHLER, S. V., **Erros amostrais e não amostrais em inventários de florestas plantadas**. Tese de doutorado, Curitiba-PR, 2017, 173p.

LAAR, V. A.; AKÇA A. **Forest Mensuration**, Book 2ed, Gottenberg, 2007, 389p.

MACEDO, J. H. P.; MACHADO, S.A., **A Engenharia florestal da UFPR: História e Evolução da Primeira do Brasil**, Livro 1ed, Curitiba - PR, 2003, 513p.

MACHADO, S. A.; AUGUSTYNCZIK, A. L. D.; NASCIMENTO, R. G. M.; FIGURA, M. A.; SILVA, L. C. R.; MIGUEL, E. P., TÉO, S. J., **Distribuição diamétrica de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. em um fragmento de Floresta Ombrófila Mista**, Scientia Agraria, Curitiba - PR, v.10, n.2, p.103-110, 2009.

MACHADO, S.A.; FIGUEIREDO FILHO, A. **Dendrometria**, Livro 2ed. Guarapuava-PR: UNICENTRO, 2006, 316p.

MADOW, W. G. e MADOW, L. H. **On the theory of systematic sampling**. Ann Math. Statist, (15): 1-24, 1944.

MARSHALL, D. D; KIM, L., BELL, J. F., **Using a large-angle gauge to select trees for measurement in variable plot sampling**, Canada. J. For. Res. 34: 840–845, 2004.

MENDES, J. B. **Desenvolvimento de um sistema de inventário florestal por computador**. Dissertação de mestrado. Curitiba-PR, 1988, 110p.

MIOT, H. A., **Avaliação da normalidade dos dados em estudos clínicos e experimentais**, J. Vasc. Bras. 2017 Abr/Jun; p. 88-91.

MIRANDA, D. L. C; FRANCIO, J; SANTOS, J. P.; SANQUETTA, C. R.; CORTE, A. P. D., **Precisão e eficiência relativa de métodos de amostragem em Teca**, Pesq. flor. bras., Colombo-PR, v. 35, n. 83, p. 247-254, 2015.

MIRANDA R. O. V.; ZARPELON F. A.; KOHLER, S. V.; SOARES A. A. V.; MIRANDA, I. D. S.; KUCHLA, W. C., **Precision and accuracy of sampling methods in thinned *Pinus taeda* L. stands**, Revista Floresta , Curitiba, PR, v. 52, n. 1, p. 045-053, jan/mar/2022.

OLIVEIRA NETO, P. G.; MELLO, A. A.; GAMA, D. C.; BARRETO, I. D. C. C.; FERREIRA, R. A.;NAKAJIMA, N. Y., **Comparação de dimensões de parcelas para análise de vegetação em um fragmento de mata Atlântica, Aracaju - SE**, Revista Floresta, Curitiba-PR, 2015, v. 45, n. 4, p. 735 - 744.

PÉLLICO NETTO, S.; BRENA, D. A. **Inventário Florestal**. Curitiba-PR,Livro 2 ed, 1997, 316p.

POTTER, R. O.; CARVALHO, A. P.; FLORES, C. A.; BOGNOLA, I., **Solos do Estado de Santa Catarina**, Rio de Janeiro - RJ, Embrapa Solos, 2004.

SANQUETTA C. R.; WATZLAWICK L. F.; CÔRTE A. P. D.; FERNANDES L. A. V.; SIQUEIRA J. D. P., **Inventários Florestais: Planejamento e Execução**, Livro 2ed. Curitiba-PR, 2009, 316p.

SANTOS, J. S.; MENDONÇA, A. R. de ; SILVA, G. F. da; FRAGA FILHO, C. V., **Método de amostragem de Bitterlich: uma alternativa de inventário florestal para pequenas propriedades rurais fomentadas**, Rev. Bras. de Ciências Agrárias, UFPE, vol. 11, núm. 1, 2016, pp. 46-52.

SERPE, E. L., **Sortimento do estoque volumétrico e rendimento de madeira serrada em florestas de *Pinus* sp.**, Tese de doutorado, Irati-PR, 2017, 88p.

SCHAAF, L. B.; FIGUEIREDO FILHO, A.; GALVÃO F.; SANQUETTA C. R., **Alteração na estrutura diamétrica de uma floresta ombrófila mista no período entre 1979 e 2000**, Revista Árvore, Viçosa-MG, Vol.30, nº2, 2006, p. 283-295.

SCOLFORO J. R. S., **Manejo Florestal: Florestas Plantadas e Nativas**. Lavras - MG, UFLA/FAEPE, 2007, 690p.

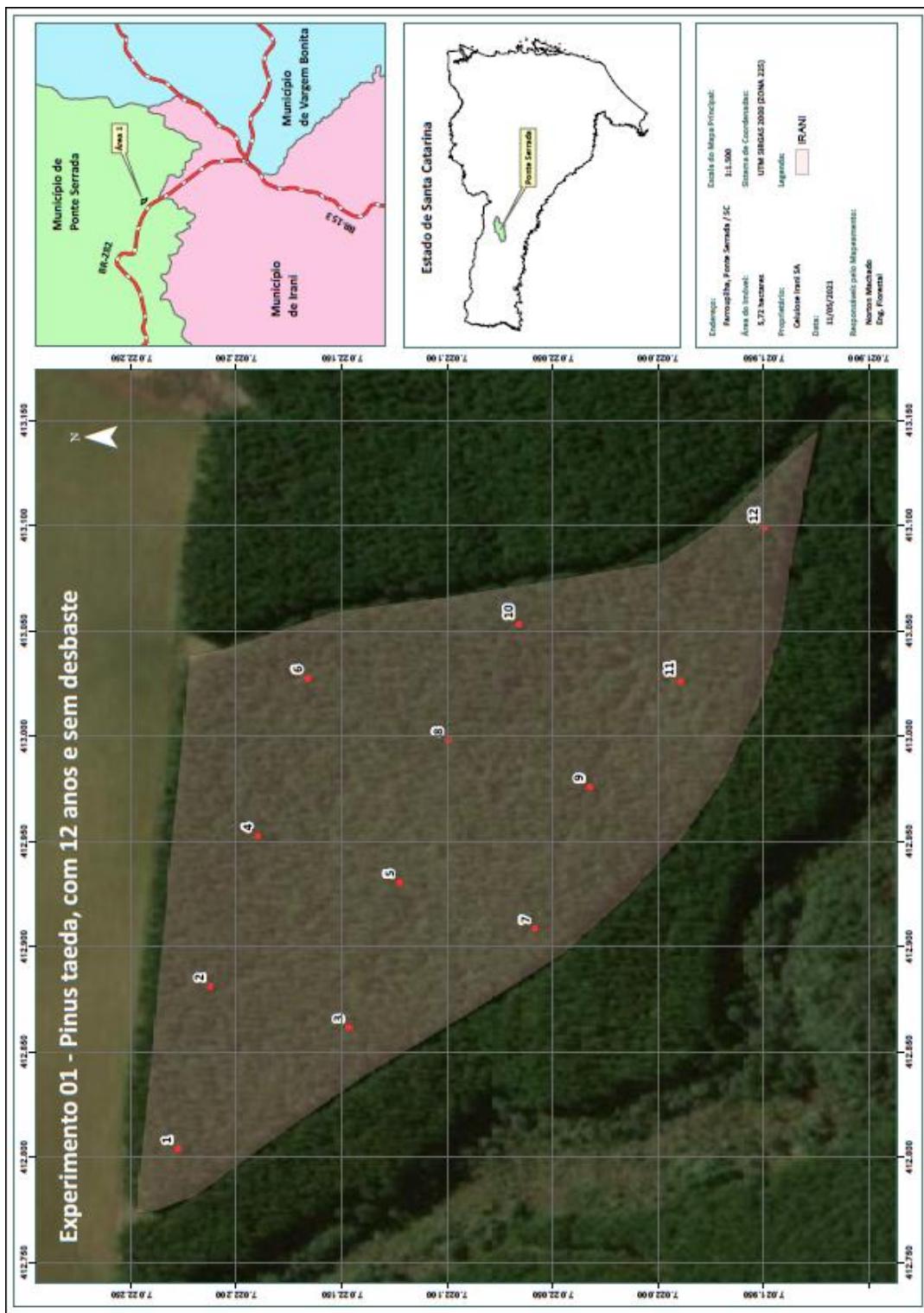
SOARES, P., TOMÉ, M. **Símbolos Usados na Inventariação e Modelação de Recursos Florestais**, 2^a Versão – **Symbols Used in Inventory and Modelling of Forest Resources**; 2nd version. Publicações ForChange, RT5/2008, Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior Agronomia, Centro de Estudos Florestais, Lisboa, 2008, 27 pp.

WEST, P. W., **Tree and Forest Measurement**, Book 2ed, Berlin, 2009, 191p.

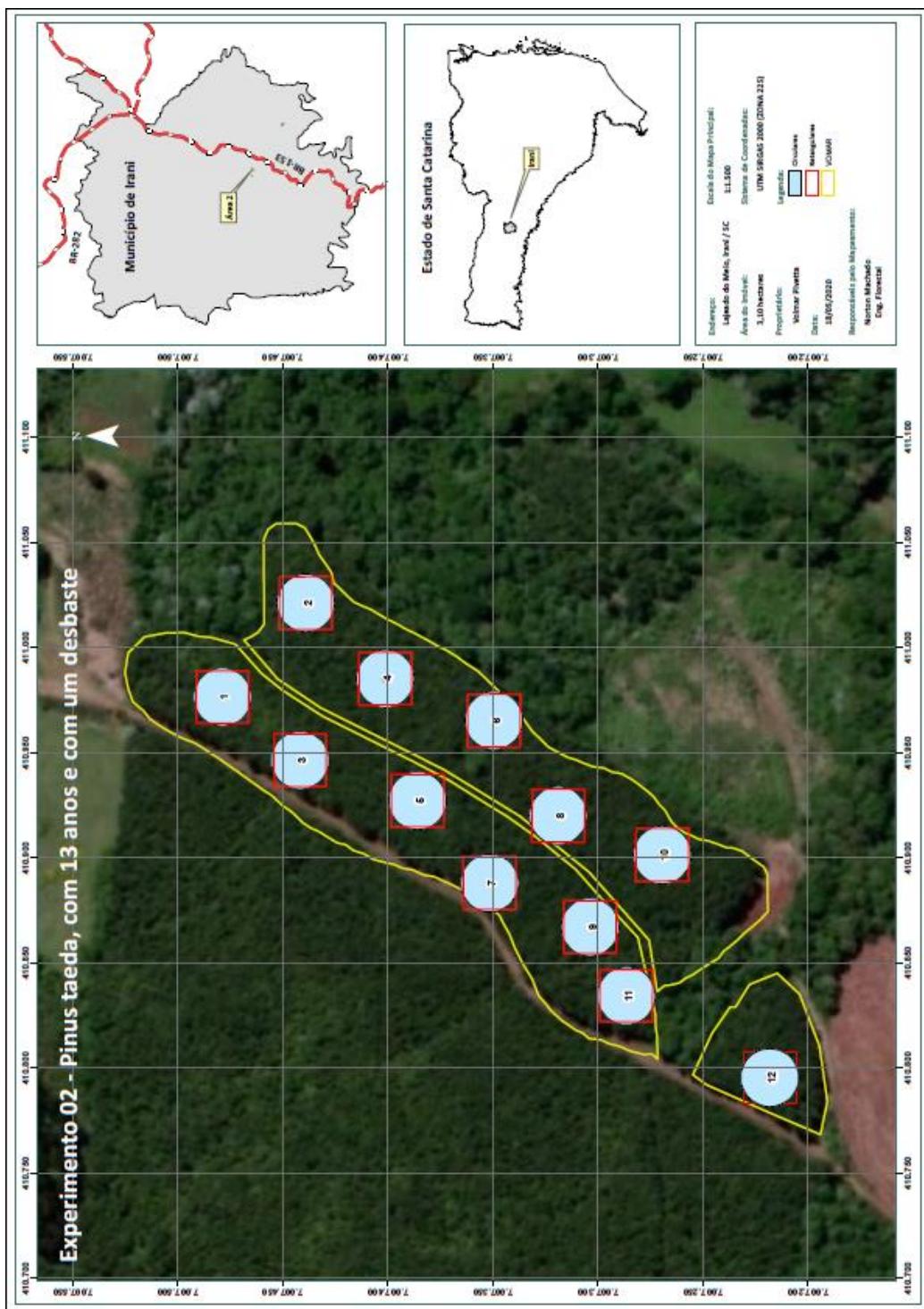
WREGE, M. S.; STEINMETZ, S.; REISSER JR, C.; ALMEIDA, I. R., **Atlas climático da região sul do Brasil**, 2ed., Brasília-DF, EMBRAPA, 2012, 334p.

APÊNDICE A - MAPAS DE INVENTÁRIO

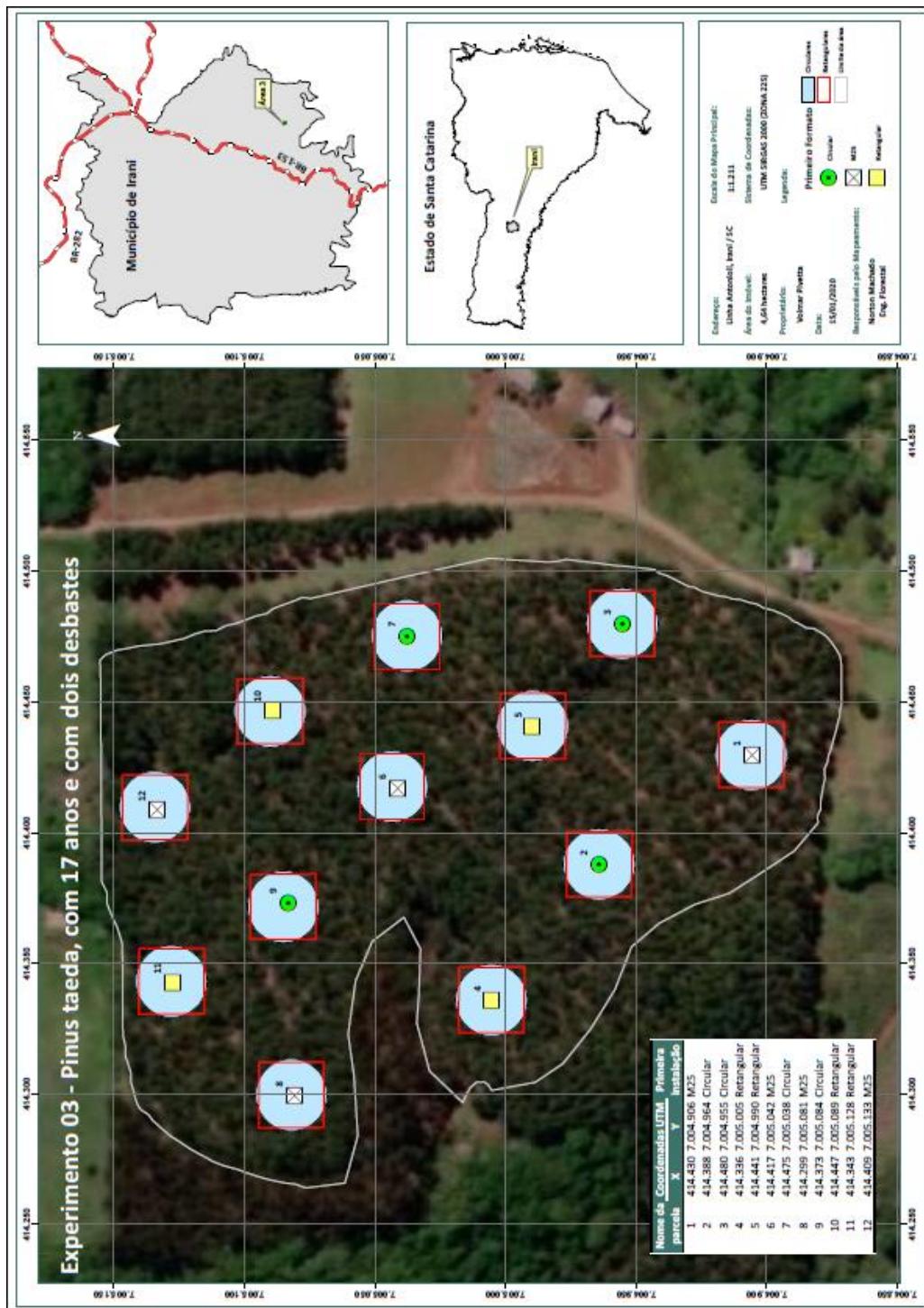
Mapa de inventário do EXP1 (sem desbastes)



Mapa de inventário do EXP2 (um desbaste)



Mapa de inventário do EXP3 (dois desbastes)



**APÊNDICE B - TABELA DE COORDENADAS DOS PONTOS AMOSTRAIS
(REPETIÇÕES)**

A Tabela 30 mostra as coordenadas UTM (22S, SIRGAS 2000) de todos os pontos amostrais distribuídos nos 3 experimentos.

Tabela 32 Coordenadas das UAs localizadas nos três experimentos

UA	EXP1		EXP2		EXP3	
	X	Y	X	Y	X	Y
1	412.807	7.022.229	410.981	7.007.458	414.420	7.004.891
2	412.892	7.022.210	411.028	7.007.450	414.393	7.004.962
3	412.861	7.022.152	410.946	7.007.442	414.470	7.004.963
4	412.973	7.022.182	410.994	7.007.420	414.342	7.005.005
5	412.934	7.022.120	410.917	7.007.378	414.445	7.004.991
6	413.023	7.022.162	410.985	7.007.401	414.426	7.005.035
7	412.925	7.022.048	410.890	7.007.346	414.473	7.005.035
8	413.001	7.022.096	410.926	7.007.327	414.292	7.005.084
9	412.977	7.022.023	410.862	7.007.319	414.371	7.005.067
10	413.041	7.022.082	410.883	7.007.260	414.441	7.005.091
11	413.041	7.021.988	410.844	7.007.294	414.317	7.005.117
12	413.099	7.021.952	410.797	7.007.224	414.390	7.005.117